D. I. Saharov

CULEGERE DE PROBLEME DE FIZICĂ

D. I. SAHAROV

Romulus R.

CULEGERE DE PROBLEME DE FIZICĂ

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ,
BUCUREȘTI – 1976

PREFAȚA

Consider binevenită traducerea, de către prof. E. Ciugulanu și prof. I. Buzu, a lucrării „Culegere de probleme de fizică pentru liceu" a lui D. I. Saharov. Culegerea cuprinde un mare număr de probleme, începînd cu unele destul de ușoare și terminînd cu probleme a căror rezolvare cere aplicarea calculului diferențial și integral. Ca atare, ea se adresează unor categorii destul de diferite de elevi și este folositoare și pentru studenții începători și chiar pentru profesori. Lucrarea este precedată de o foarte utilă „Introducere" în care se recomandă atît unele precauții care trebuie luate înainte de rezolvarea problemelor propuse, cît și modul de verificare a rezultatelor obținute folosind atît omogenitatea formulelor utilizate, cît și verificarea pe cazuri particulare. Ca atare, lucrarea îndeplinește și are rol pedagogic inițiind pe începători în activitatea de rezolvarea problemelor de fizică. Lucrarea se încheie cu răspunsurile la cele peste o mie de probleme propuse, cum și cu cîteva tabele conținînd pe lîngă o serie întreagă de valori ale unor constante fizice pentru diferite substanțe și materiale, și un tablou recapitulativ cuprinzînd unitățile mărimilor fizice, în Sistemul Internațional.

Cred că, date fiind calitățile pe care le prezintă, culegerea de probleme de față va avea un deosebit succes, ea completînd alte culegeri publicate anterior.

Profesor dr. docent RADU ȚIȚEICA

INTRODUCERE

1. Înainte de folosirea acestei culegeri elevii trebuie să se familiarizeze cu tabelele aflate la sfîrșitul cărții. De asemenea este necesară consultarea indicațiilor de la începutul fiecărui paragraf care servesc la rezolvarea problemelor din acel paragraf și a unor probleme din paragrafele următoare.
2. După citirea enunțului problemei, elevii trebuie să stabilească toate datele necesare rezolvării problemei. În afara celor care figurează în enunțul problemei, celelalte se pot găsi în tabele.
3. Este necesar să se stabilească toate ipotezele pe care se bazează rezolvarea problemei.
Unele din aceste ipoteze figurează în însuși enunțul problemelor, ca de exemplu: „Considerînd pămîntul ca o sferă omogenă...“
4. Se recomandă rezolvarea problemei pe caz general folosind simbolurile matematice și fizice din tabelul XXXI.
5. După rezolvarea problemei este necesară verificarea care se poate face în următoarele moduri:
a) Prin verificarea dimensiunilor tuturor termenilor care apar în expresia rezultatului obținut.
b) Prin verificarea rezultatelor obținute pe cazuri particulare. De exemplu, pentru viteza finală a unui corp aruncat pe verticală în jos cu viteza inițială v_o se obține formula $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$. Dacă $v_o = 0$ formula devine $v = \sqrt{2gh}$, cunoscută din studiul căderii libere. Dacă distanța parcursă în cădere este foarte mică viteza finală va fi practic egală cu viteza inițială. În formula obținută se vede că dacă punem $h \simeq 0$ obținem $v \approx v_0$. Aceste considerații ne îndreptățesc să admitem că rezolvarea este corectă. Un alt exemplu: Din condițiile problemei 27.14 este clar că dacă $U_3 = U_1$, formula prin care se exprimă rezultatul trebuie să dea $t_3 = t_1$ iar pentru $U_3 = U_2$ trebuie să se obțină $t_3 = t_2$. Dacă rezolvînd problema 27.14 s-ar obține un rezultat care nu satisface cerințele de mai sus, rezolvarea problemei este greșită.
c) În unele cazuri din condițiile date se poate stabili că formula prin care se exprimă rezultatul căutat trebuie să fie simetrică în raport cu datele problemei, adică răspunsul trebuie să fie același dacă schimbăm între ele datele problemei. Să examinăm un exemplu: Un element galvanic dă un curent $I_1 = 2A$ dacă rezistența exterioară este $R_1 = 0{,}2\ \Omega$ și un curent $I_2 = 0{,}7A$ dacă rezistența exterioară este $R_2 = 1{,}5\ \Omega$. Cu cît este egală tensiunea electromotoare a elementului? Este evident că succesiunea cazurilor notate cu indicii 1 și 2 este arbitrară și ele pot fi inversate. Într-adevăr, rezolvînd problema se găsește formula prin care se exprimă tensiunea electromotoare a elementului în funcție de I_1, I_2, R_1 și R_2.

$$E = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1}$$

Această formulă este simetrică în raport cu mărimile notate cu indici 1 și 2, și dacă acești indici se inversează regăsim aceeași formulă. Dacă simetria așteptată a rezultatului, pe baza datelor problemei, nu se verifică pe rezultatul obținut rezolvarea problemei este greșită.

6. Folosirea anumitor legi sau aplicarea anumitor relații în rezolvarea problemelor trebuie să fie motivată. De exemplu, la rezolvarea problemei 8.7 trebuie precizat de ce în cazul considerat se pot aplica legile perioadei pendulului matematic deși oscilatorul în cauză nu este un asemenea pendul. De asemenea trebuie motivate răspunsurile la problemele întrebări. De exemplu, răspunsul complet la problema 32.5, *b* trebuie formulat astfel : fie ΔL lucrul mecanic efectuat pentru o deplasare foarte mică a magnetului astfel încît să putem considera intensitatea I a curentului constantă. Întrucît pe seama acestui lucru mecanic se obține o anumită cantitate de căldură, se poate scrie :

$$\Delta L = I^2 R \Delta t = I \Delta q R.$$

Cum Δq nu depinde de viteza de variație a fluxului magnetic ΔL este direct proporțional cu I. La o deplasare rapidă a magnetului I și, prin urmare, ΔL este mai mare decît la o deplasare lentă. Prin însumarea lucrurilor mecanice efectuate pe distanțe mici rezultatul obținut rămîne valabil și pentru deplasări mai mari ale magnetului.

7. Înainte de a trece la calcule numerice trebuie exprimate toate datele în unități ale SI. În anumite cazuri, pentru simplificarea calculelor, se poate face excepție de la această regulă și anume, în cazurile în care intervin rapoarte ale aceloraşi mărimi ca de exemplu : $\frac{p_1}{p_2}, \frac{V_1}{V_2}$ etc. În aceste rapoarte presiunea p sau volumul V pot fi exprimate în oricare alte (evident aceleași) unități.

8. Problemele ușoare sînt precedate de semnul ○, cele cu un grad mediu de dificultate cu semnul △ și cele mai grele cu semnul □. Cu semnele □ și △ sînt notate și problemele a căror rezolvare presupune aplicarea calculului diferențial sau integral*.

---

* Pentru a veni în ajutorul elevilor din liceu, în ediția în limba română, problemele care depășesc cadrul programei poartă aceleași semne ca în ediția originală dar înnegrite (*Nota traducătorului*).

CAPITOLUL I

MECANICA

§ 1. Cinematica

I. **Viteza unui punct material** : $v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$

Acceleraţia unui punct material : $a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$.

II. **Ecuaţiile mişcării uniform variate rectilinii** : $v = v_0 + at$; $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$;

$v^2 = v_0^2 + 2\,aS$.

Din aceste relaţii generale se pot obţine formulele de calcul pentru cazuri particulare (mişcarea uniform accelerată fără viteză iniţială şi mişcarea uniform încetinită pînă la oprire).

III. Dacă dintr-un punct oarecare trasăm vectori echipolenţi vectorilor viteză în diferite momente ale mişcării, extremităţile acestor vectori se situează pe o curbă numită hodograful vitezei. La mişcarea mobilului pe traiectorie extremităţile vectorilor echipolenţi vectorilor viteză descriu hodograful iar viteza de mişcare a extremităţilor vectorilor viteză pe hodograf este egală cu acceleraţia punctului.

IV. În cazul mişcării curbilinii $a_n = \frac{v^2}{R}$; $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$.

(a_t — acceleraţia tangenţială, a_n — acceleraţia normală (centripetă), a — acceleraţia totală).

V. Ecuaţiile mişcării oscilatorii armonice : $s = A \sin(\omega t + \varphi)$;

$$v = A\omega \cos(\omega t + \varphi)\,;\; a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 s.$$

VI. Prin compunerea a două mişcări oscilatorii armonice pe aceeaşi direcţie rezultă o mişcare oscilatorie armonică de aceeaşi perioadă, a cărei amplitudine este dată de relaţia : $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2\,A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$.

VII. Viteza mişcării compuse se găseşte cu ajutorul regulii paralelogramului.

VIII. În cazul mişcării de translaţie a unui corp solid vitezele şi acceleraţiile tuturor punctelor corpului sînt egale în fiecare moment.

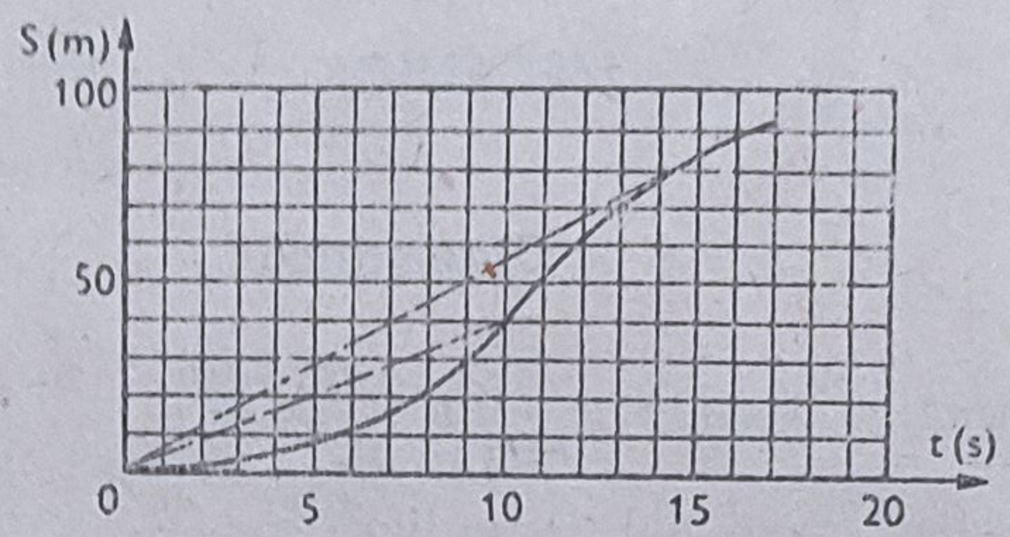
IX. Mişcarea de rotaţie a unui corp solid se caracterizează prin viteza unghiulară $\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$ şi prin acceleraţia unghiulară $\varepsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$.

Viteza unghiulară şi acceleraţia unghiulară sînt mărimi vectoriale şi se compun după regula paralelogramului.

X. Legătura între vitezele și accelerațiile tangențiale ale unui punct al corpului aflat în mișcare de rotație și mărimile corespunzătoare unghiulare : $V = \omega R = \frac{2\pi R}{T}$; $a = \varepsilon R$.

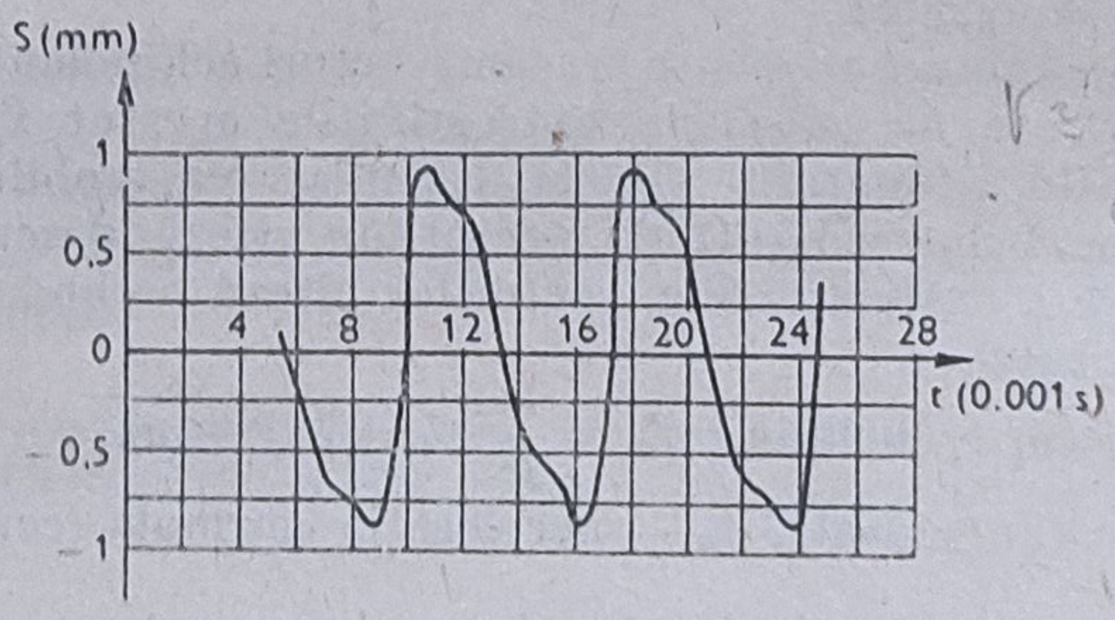
R — distanța punctului pînă la axa de rotație ; T — perioada de rotație.

○1.1. În figura 1.1 este reprezentat grafic spațiul străbătut de un tramvai în funcție de timp la pornirea din stație. a) Ce mișcare are tramvaiul în diferite momente ? b) În ce momente viteza tramvaiului este maximă ? c) Ce reprezintă liniile punctate ? d) Cu cît este egală viteza medie în primele 10 s ? Dar în primele 17 s ?



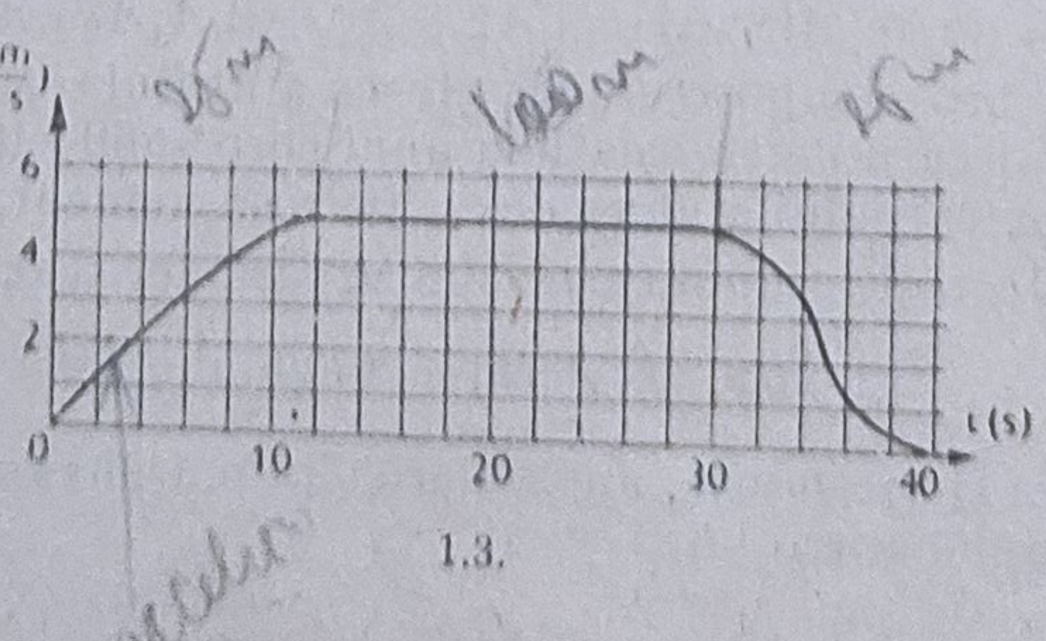
1.1.

○1.2. În figura 1.2 este reprezentată grafic mișcarea unui punct al unei corzi de pian. În ce momente se mișcă punctul cu viteza maximă și în ce momente are accelerația maximă ?



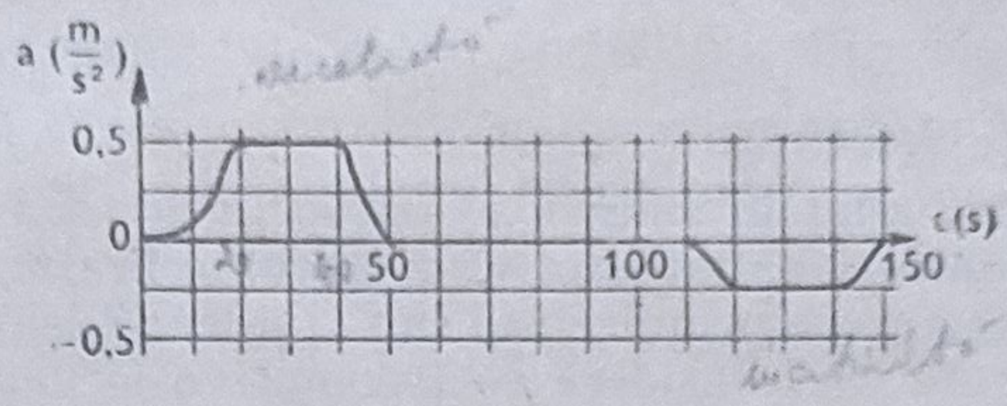
1.2.

○1.3. În figura 1.3 este reprezentat graficul vitezei unui automobil. a) Ce mișcare are automobilul în diferite momente ? b) Cu cît este egal spațiul străbătut de automobil după 40 s ?



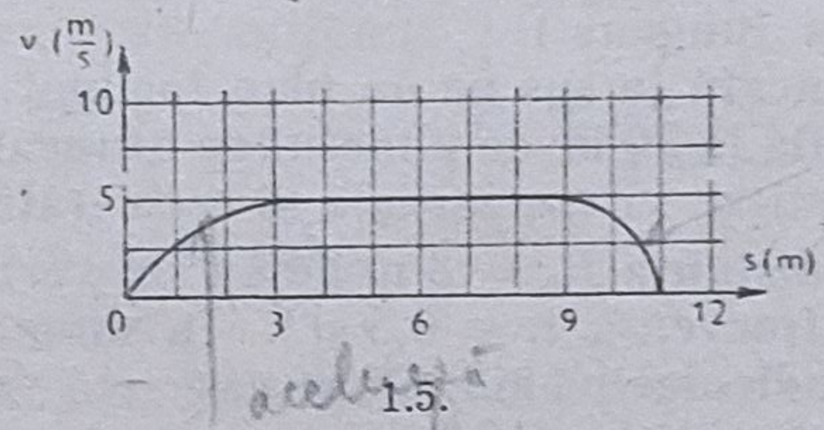
1.3.

○1.4. Există dispozitive care permit să se traseze grafic variația accelerației unui mobil în funcție de timp. a) În ce intervale de timp mișcarea mobilului reprezentată pe graficul din figura 1.4 a fost accelerată, încetinită, uniformă? b) Să se traseze cu aproximație graficul vitezei presupunînd că la $t = 0$, $v = 0$.



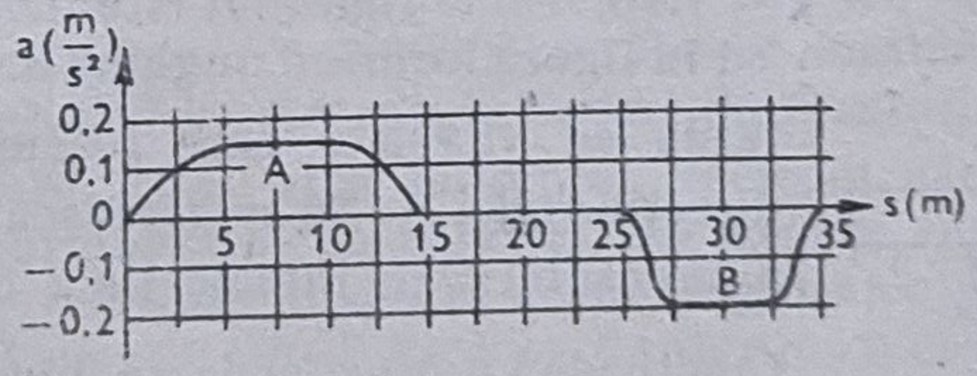
1.4.

○1.5. După graficul din figura 1.5 să se caracterizeze mișcarea pe diferite porțiuni ale drumului parcurs.



1.5.

□1.6. După graficul din figura 1.6 să se precizeze: a) Ce caracter are mișcarea pe diferite porțiuni ale drumului? b) Ce reprezintă aria cuprinsă între curba dată și axa absciselor? c) Ce se poate spune despre vitezele inițială și finală ale mișcării dacă ariile A și B sînt egale?



1.6.

○1.7. Un tren se mișcă cu viteza de $75 \frac{km}{h}$. Este posibil ca un observator să constate mișcarea trenului într-o noapte întunecoasă, la lumina unui fulger care durează $2 \cdot 10^{-4}$ s? Observatorul se găsește la o distanță de la care se pot observa deplasări $\geqslant 1$ cm.

△1.8. a) Un observator se află la distanța $h = 50$ m de un drum drept pe care se apropie un automobil cu viteza $v_1 = 10 \frac{m}{s}$. După ce direcție trebuie să alerge observatorul cu viteza $v_2 = 3 \frac{m}{s}$ spre a se întîlni cu automobilul, dacă acesta se află la distanța $b = 200$ m de observator? b) Care este viteza minimă cu care trebuie să alerge observatorul spre a putea întîlni automobilul?

○1.9. Un tren plecînd dintr-o staţie a parcurs 200 m în timpul de 50 s şi a atins viteza de $6\ \frac{m}{s}$. S-a mărit sau s-a micşorat acceleraţia mişcării în timpul considerat ?

○1.10. Un tren străbate 2 km în 2 min 20 s. Dacă viteza maximă a trenului este $60\ \frac{km}{h}$, iar acceleraţiile iniţială şi finală sînt egale în valoare absolută, să se calculeze aceste acceleraţii.

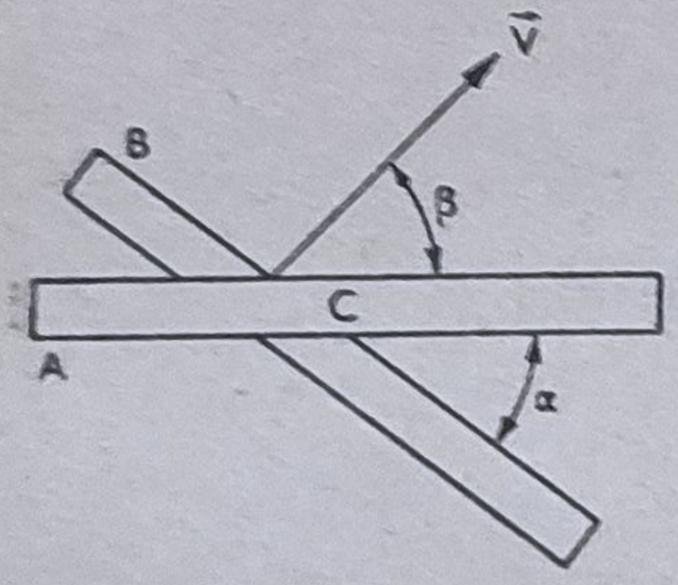
△1.11. Un observator aflat în momentul iniţial în dreptul extremităţii anterioare a unui tren constată că locomotiva a trecut prin dreptul său în timpul $\tau = 4$ s. În cît timp va trece prin dreptul său al n-lea (7-lea) vagon ? Mişcarea este uniform accelerată. Se consideră că locomotiva şi vagoanele au aceeaşi lungime.

△1.12. Un observator aflat pe peronul unei gări constată că locomotiva unui tren care intră în staţie trece prin dreptul său în 4 s iar primul vagon în 5 s. Cînd trenul s-a oprit extremitatea sa anterioară se află la 75 m de observator. Mişcarea fiind uniform încetinită să se afle acceleraţia trenului. (Locomotiva şi vagoanele au aceeaşi lungime.)

○1.13. O bilă este aruncată în sus pe un plan înclinat. După 1 s şi după 2 s de la aruncare bila se află la 30 m de punctul de aruncare. Mişcarea fiind uniform variată să se calculeze viteza iniţială şi acceleraţiile mişcării.

✗□1.14. Un far aflat la distanţa $R_0 = 3$ m de un zid vertical se roteşte în jurul unei axe verticale cu frecvenţa $n = 0{,}5\ s^{-1}$. În momentul iniţial fasciculul emis de far cade perpendicular pe zid. Să se găsească viteza cu care se deplasează pata luminoasă pe zid după 0,1 s.

○1.15. Din portul A pornesc în sus şi în jos, pe un rîu, două şalupe identice care ajung în porturile B şi C în acelaşi timp. Una din şalupe revine din B în A într-un timp de 1,5 ori mai mare decît timpul în care revine cealaltă din C în A. De cîte ori este mai mare viteza şalupelor în apă stătătoare decît viteza rîului ?



1.16.

✗△1.16. Două rigle sînt situate în momentul iniţial ca în figură formînd unghiul α. Rigla B se translatează cu viteza $\vec{v}$ care formează unghiul β cu direcţia riglei A. Să se găsească viteza de deplasare a punctului C de intersecţie a celor două rigle în funcţie de viteza $\vec{v}$ şi de unghiurile α şi β. Pentru ce valoarea a unghiului β viteza punctului C este maximă ? Pentru ce valoarea a unghiului β viteza punctului C este egală cu v ?

✗△1.17. Cu ce viteză şi în ce direcţie trebuie să zboare un avion spre a parcurge într-o oră o distanţă de 200 km îndreptîndu-se spre nord, dacă în tot timpul zborului întîmpină rezistenţa vîntului care bate dinspre nord-est cu viteza de $30\ \frac{km}{h}$ sub unghiul de 35° cu meridianul?

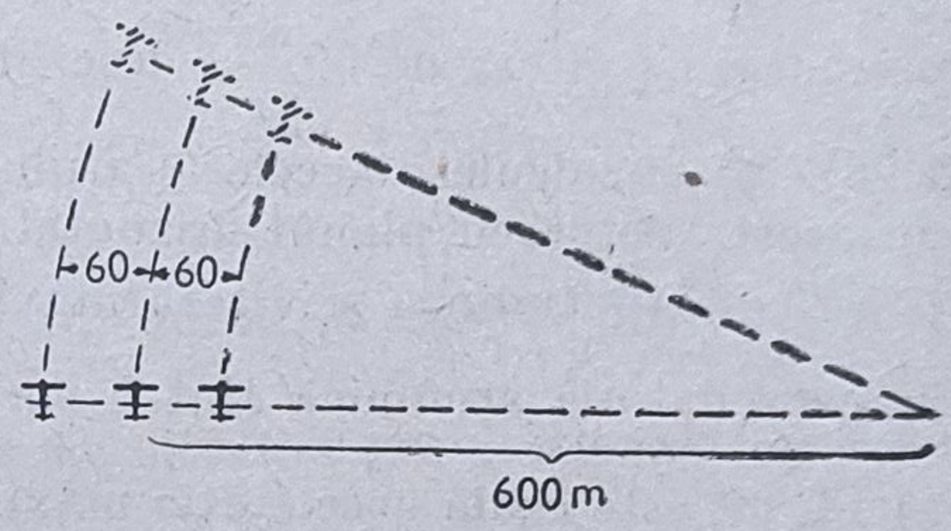
✗△1.18. Două insule A şi B se găsesc pe mijlocul unui rîu care curge cu viteza $v_1 = 2{,}5\ \frac{km}{h}$, la distanţa $s = 0{,}5$ km. Pe mal, în dreptul insulei A, se găseşte un debarcader la distanţa $s = 0{,}5$ km de A. Un vîslaş parcurge cu barca prima dată drumul AB şi înapoi şi a doua oară drumul de la A la debarcader şi înapoi

Viteza bărcii în apă stătătoare este v_2. a) Care este condiția ca vîslașul să poată face prima deplasare ? b) Care este condiția ca el să poată face a doua deplasare în linie dreaptă ? c) Pe ce direcție trebuie să fie îndreptată barca în drum spre debarcader dacă $v_2 = 5\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$? d) Sînt egale timpurile în care se parcurg cele două drumuri ? e) Pentru ce valoare a vitezei v_2 primul drum se parcurge într-un timp de $n = 2$ ori mai mare decît al doilea ?

○1.19. Ce aspect are hodograful vitezei în următoarele cazuri : Mișcare rectilinie și uniformă ? Mișcare rectilinie uniform accelerată ? Mișcare circulară uniformă ? Mișcare circulară uniform accelerată ?

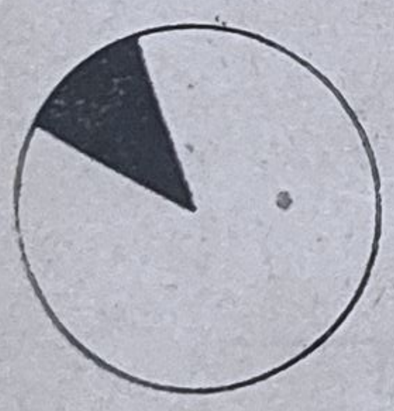
○1.20. Un tren se mișcă pe o porțiune circulară de drum cu raza de 400 m, cu accelerația tangențială de $0{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Să se calculeze accelerația normală și accelerația totală în momentul în care viteza este de 10 m/s.

△1.21. Trei avioane fac un viraj menținîndu-se la distanța de 60 m (vezi figura 1.21). Avionul din mijloc zboară cu viteza de $360\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ pe un arc de cerc cu raza $R = 600$ m. Să se calculeze accelerația fiecărui avion.



1.21.

○1.22. O roată prevăzută cu 12 spițe echidistante este fotografiată în timpul mișcării sale de rotație cu timpul de expunere 0,04 *s*. Pe fotografie, imaginea mobilă a fiecărei spițe acoperă în acest timp o jumătate din sectorul cuprins între două spițe vecine. Să se găsească viteza unghiulară a roții.



1.23.

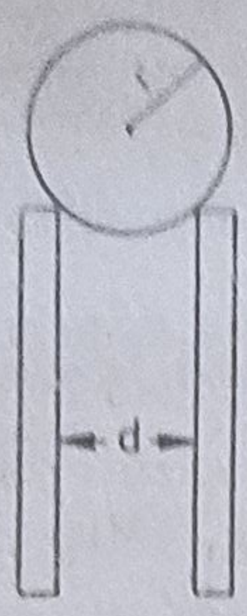
△1.23. a) Un cerc (vezi figura 1.23), avînd un sector înnegrit, cu unghiul la centru de 40°, se rotește cu turația de 1 500 min^{-1}. Ce se va observa într-o cameră întunecoasă, la licăririle intermitente ale unui bec cu neon, dacă fiecare licărire durează 0,003 s, iar becul luminează de 100 ori pe secundă ? b) Aceeași întrebare dacă turația este 1 470 min^{-1} ?

○1.24. Cum este îndreptat vectorul accelerație unghiulară în următoarele cazuri : a) Un corp se rotește în jurul unei axe verticale în sensul acelor ceasornicului cu viteză unghiulară crescătoare ? b) Axa de rotație a corpului își modifică orientarea dar mărimea vitezei unghiulare rămîne constantă ?

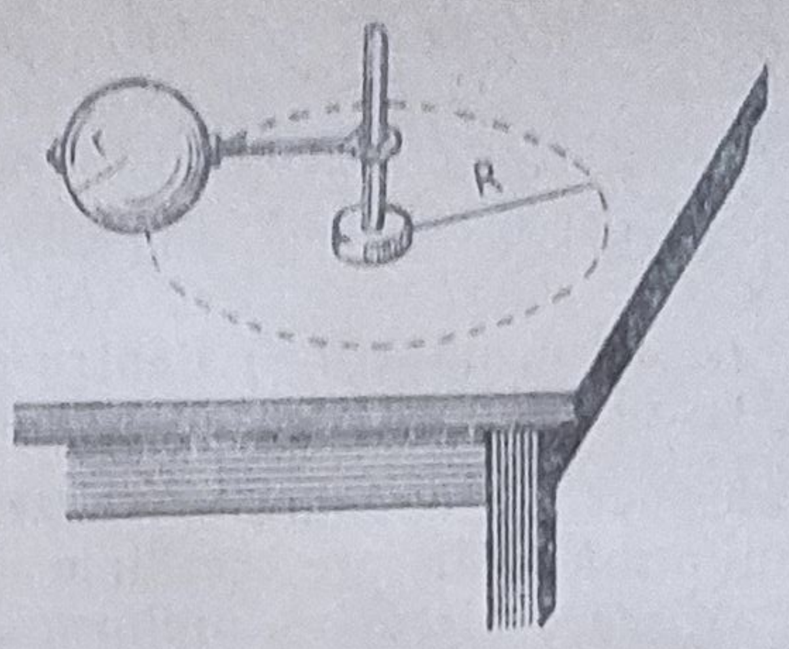
○1.25. O roată care se învîrtește cu turația de 1 500 min^{-1} se oprește prin frînare după 30 s mișcîndu-se cu accelerație unghiulară constantă. Să se găsească accelerația unghiulară și numărul de rotații efectuate pînă la oprire.

○1.26. Un corp începe să se rotească cu accelerația unghiulară constantă de 0,04 s^{-2}. După cît timp de la începerea mișcării accelerația totală a unui punct oarecare al corpului va fi orientată sub unghiul de 76° față de viteza aceluiași punct ?

△1.27. O bilă cu raza de 3 cm se rostogolește uniform fără frecare pe două șine paralele aflate la distanța de 4 cm (vezi figura 1.27) și străbate în 2 s un spațiu de 120 cm. Cu ce viteze se mișcă punctele bilei aflate la înălțimile maximă și minimă ?



1.27.



1.28.

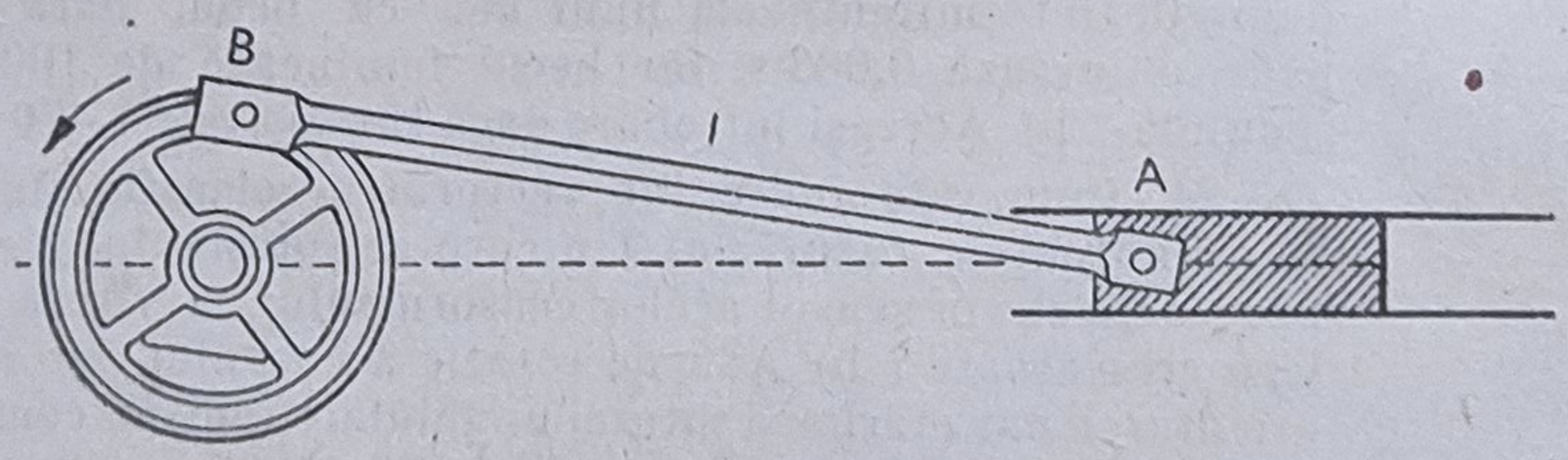
△1.28. O sferă cu raza de 16 cm, cu un ax orizontal, se rotește pe un plan orizontal cu viteza de $60\frac{cm}{s}$, descriind un cerc cu raza de 30 cm (vezi figura 1.28). Să se calculeze accelerația unghiulară totală a sferei și unghiul format de acest vector cu planul orizontal.

○1.29. Amplitudinea și viteza maximă a unui mobil care efectuează o mișcare oscilatorie armonică sînt 5 cm și $12\frac{cm}{s}$.

a) Cu cît este egală accelerația maximă ? b) Ce valori au viteza și accelerația punctului la elongația de 3 cm ?

○1.30. Extremitatea unei ramuri a unui diapazon oscilează cu frecvența de 500 Hz și amplitudinea de 0,2 mm. Să se afle : a) viteza medie de deplasare de la amplitudine la poziția de echilibru ; b) viteza medie cu care se parcurg 0,1 mm de la amplitudine spre poziția de echilibru ; c) viteza medie cu care se parcurg 0,1 mm de la poziția de echilibru ; d) viteza maximă.

○1.31. Mijlocul unei coarde oscilează cu frecvența de 200 Hz. Amplitudinea este 3 mm. Să se calculeze accelerația maximă.



1.32.

○1.32. Fie mecanismul bielă-manivelă din figura 1.32. Care este condiția ca mișcarea punctului A să poată fi considerată o oscilație armonică, dacă punctul B se mișcă uniform pe cerc ?

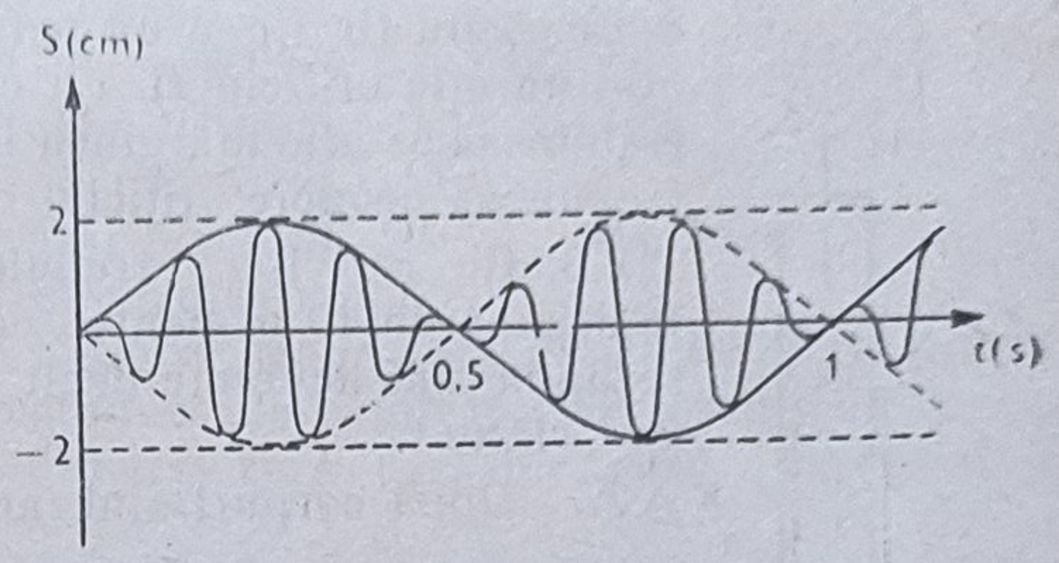
○1.33. Balansierul ceasornicului efectuează oscilații armonice. Cum se mișcă extremitatea vectorului viteză unghiulară a balansierului ?

○1.34. a) Prin compunerea a două mișcări oscilatorii armonice paralele, cu amplitudinile de 5 cm și 7 cm, rezultă o mișcare oscilatorie cu amplitudinea de 9 cm. Să se afle defazajul celor două mișcări. b) Viteza maximă a primei oscilații este 50 cm/s. Să se afle viteza maximă a mișcării rezultante.

○1.35. Să se traseze graficul mișcării care rezultă din compunerea a două mișcări oscilatorii armonice cu perioadele de 0,02 s și 0,03 s. Amplitudinea primei mișcări este de 2 ori mai mare decît amplitudinea celeilalte. Fazele inițiale sînt 0 și π. Să se afle perioada mișcării oscilatorii anarmonice rezultante.

○1.36. Într-o încăpere sînt instalate două electromotoare. Cînd funcționează primul electromotor, un punct oarecare de pe podea oscilează cu amplitudinea de 0,1 mm și frecvența de 23,5 Hz. Cînd funcționează al doilea electromotor, același punct oscilează cu aceeași amplitudine și cu frecvența de 24 Hz. Cum va oscila acest punct dacă ambele electromotoare sînt în funcțiune?

○1.37. După graficul din figura 1.37. să se găsească frecvențele și amplitudinile celor două oscilații sinusoidale componente.



1.37.

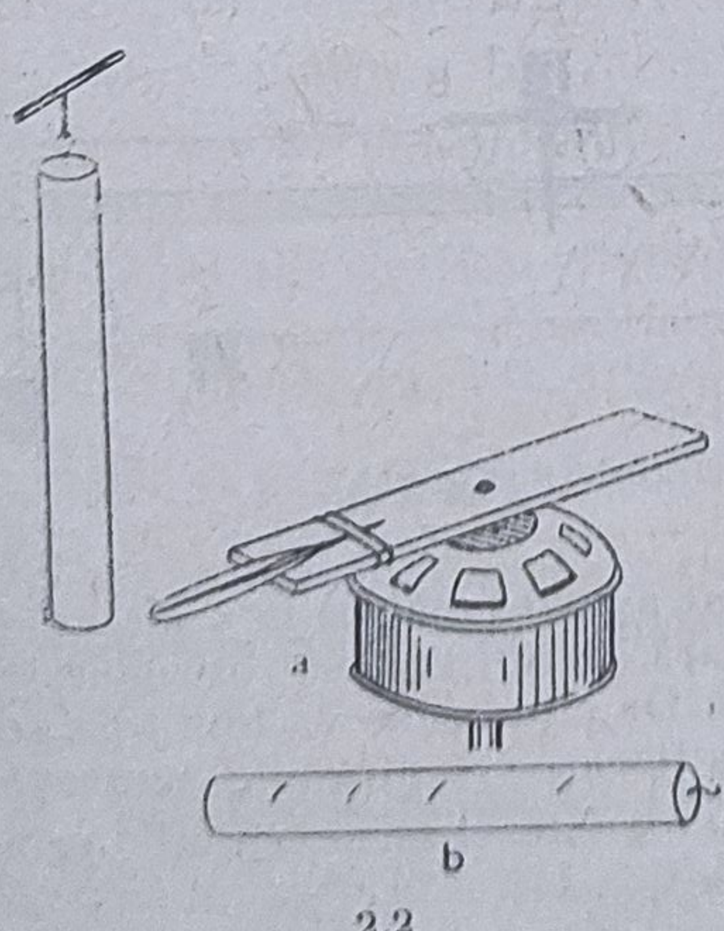
§ 2. Căderea liberă a corpurilor și aruncarea în cîmpul gravitațional

I. În afara cazurilor în care valoarea accelerației gravitaționale va fi precizată în enunț se va lua $g = 9{,}8 \frac{m}{s^2}$.

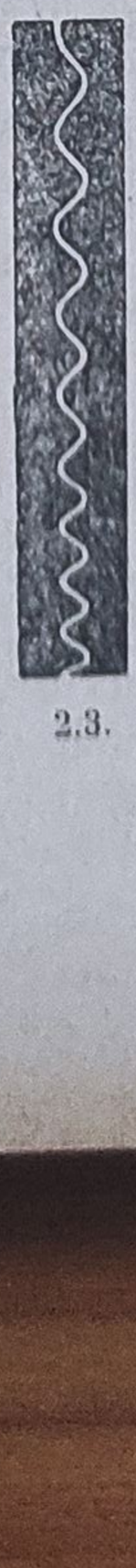
II. Înălțimea maximă și bătaia la aruncarea corpurilor sub unghiul α cu orizontala sînt respectiv $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ și $s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

○2.1. De la ce înălțime trebuie să cadă liber, în vid, un corp, spre a atinge viteza: a) $72 \frac{km}{h}$ (viteza trenului)? b) $1 \frac{cm}{min}$ (viteza de cădere a unui firicel de praf în aer)?

△2.2. În figura 2.2 este reprezentată schema unei instalații simple folosită pentru determinarea accelerației gravitaționale în laboratorul școlar. Pe lîngă o pană muiată în vopsea, care se rotește cu ajutorul unui motoraș electric, cade liber un cilindru pe care s-a înfășurat o foaie de hîrtie. Pana lasă urme pe hîrtie (fig. 2.2, *b*). a) De ce semnele lăsate pe hîrtie sînt înclinate față de axa cilindrului? b) Să se calculeze accelerația gravitațională dacă distanțele dintre urme sînt 23 mm, 40 mm, 56 mm, 74 mm, 91 mm, 110 mm, 126 mm, 143 mm. Motorul are turația de 1 440 min^{-1}.



2.2


2.3.

△2.3. În figura 2.3 este redată curba înscrisă de un vîrf ascuțit, fixat pe o ramură a unui diapazon care

vibrează, pe o placă de sticlă înnegrită, aflată în cădere liberă. Să se afle frecvența vibrațiilor diapazonului.

△2.4. O piatră este aruncată pe verticală în sus cu viteza inițială $\vec{v}_0 = 15 \frac{m}{s}$. Peste cît timp ea se va găsi la înălțimea: a) $h_1 = 10$ m? b) $h_2 = 12$ m?

△2.5. O riglă A (vezi figura 2.5), lungă de 25 cm este suspendată cu un fir lîngă un perete. Dedesubtul riglei, în perete, se află un mic orificiu B. La ce înălțime h deasupra orificiului B trebuie să se afle marginea inferioară a riglei dacă ea, în cădere, trebuie să acopere orificiul timp de 0,1 s?

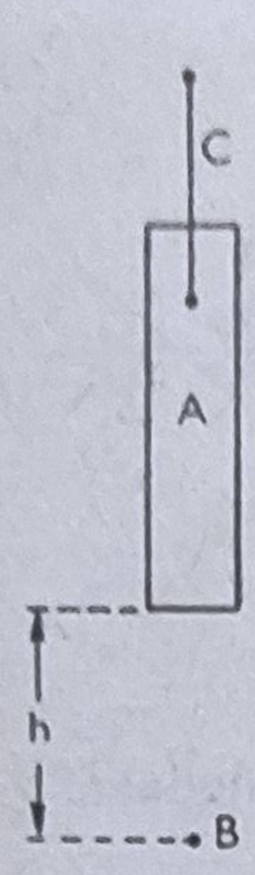


Fig. 2.5.

△2.6. Cu ce viteză trebuie aruncat vertical un corp de la înălțimea de 40 m pentru ca el să ajungă la pămînt: a) cu o secundă mai devreme decît în cădere liberă? b) cu o secundă mai tîrziu?

✗ △2.7. Două corpuri sînt aruncate vertical în sus din același punct și cu aceeași viteză inițială $v_0 = 24{,}5 \frac{m}{s}$, la un interval de timp $\tau = 0{,}5$ s. a) După cît timp, din momentul aruncării celui de-al doilea corp, ele se vor întîlni și la ce înălțime? b) Ce sens fizic ar avea rezultatul obținut dacă $\tau \geqslant 2 v_0/g$?

△2.8. Să se arate că la aruncarea corpurilor în cîmpul gravitațional are loc egalitatea vectorială: $\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$.

○2.9. O piatră aruncată orizontal de la înălțimea $h = 2$ m deasupra pămîntului cade la distanța $s = 7$ m măsurată pe orizontală. Să se afle vitezele inițială și finală.

△2.10. În figura 2.10 este reprezentată schema experienței de la studiul legii a II-a a dinamicii prin care se demonstrează că o forță constantă produce o accelerație constantă. Dintr-un vas A fixat pe un cărucior mobil B cad, la intervale egale de timp, picături colorate pe o bandă de hîrtie aflată pe masă. Se constată că distanțele dintre picături formează o progresie aritmetică. Ținînd seama că picăturile cad pe traiectorii parabolice, se confirmă în acest fel că mișcarea este uniform accelerată?

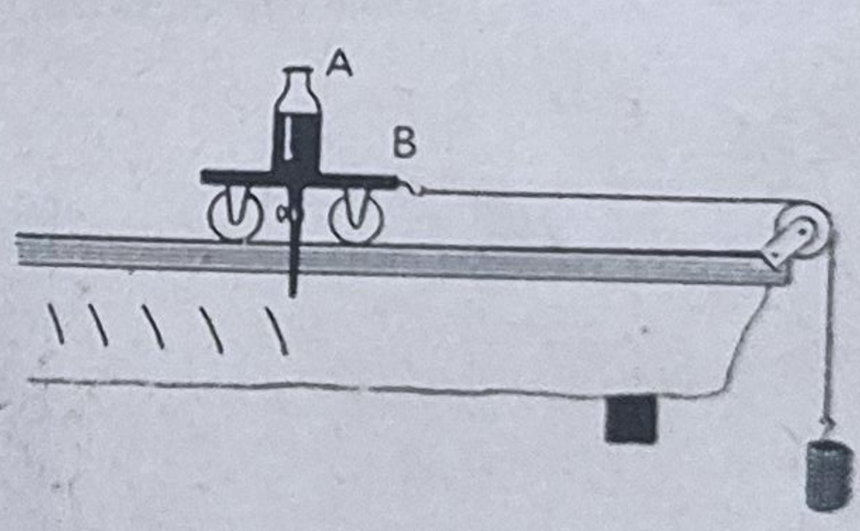


Fig. 2.10.

△2.11. Viteza inițială la aruncarea unei pietre este $10 \frac{m}{s}$ iar după 0,5 s viteza este $7 \frac{m}{s}$. La ce înălțime maximă va ajunge piatra?

✗ □2.12. Două blocuri de oțel înalte de 40 cm sînt așezate alături la o distanță de 2 cm (vezi figura 2.12). Pe marginea superioară a unui bloc se rostogolește o bilă cu diametrul de 0,6 cm și viteza de 1 m/s. De cîte ori se va lovi bila de pereții blocurilor de oțel pînă va ajunge jos? (la fiecare ciocnire bila ricoșează sub același unghi ca înainte de ciocnire, iar mărimea vitezei nu se schimbă prin ciocnire).

○ 2.13. Sub ce unghi față de orizontală trebuie aruncat un corp pentru ca înălțimea maximă să fie egală cu bătaia aruncării ?

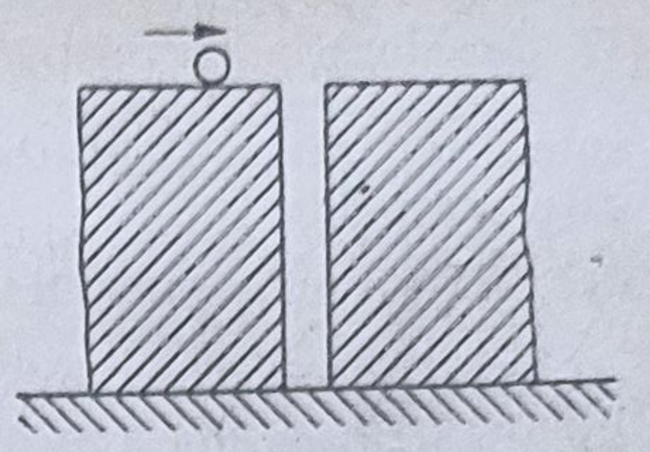


Fig. 2.12.

○ 2.14. a) La o probă de aruncare a discului acesta a căzut la distanța de 53,1 m. Luînd $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$ să se afle viteza minimă cu care trebuie aruncat discul spre a ajunge la distanța dată. Se neglijează rezistența aerului. Se consideră că punctul de aruncare se află la același nivel cu punctul de cădere. b) Care ar fi fost rezultatul aruncării cu aceeași viteză inițială la Ecuator, unde $g = 9{,}78\ \text{m/s}^2$? c) Ce date ar trebui să însoțească tabelele de recorduri ale aruncătorilor cu discul spre a se putea afla vitezele inițiale ale discului care caracterizează propriu-zis performanțele ?

○ 2.15. Un furtun cu secțiunea interioară $S = 1\ \text{cm}^2$ înclinat sub unghiul $\alpha = 32°$ față de orizontală, stropește un corp aflat la distanța $d = 12$ m și la același nivel cu gura furtunului. Să se afle cantitatea de apă debitată de furtun în timpul $t = 1$ min.

○ 2.16. Ce aspect are hodograful vitezei la aruncarea unui corp sub un unghi față de orizontală ?

△ 2.17. Un corp este aruncat sub unghiul $\alpha_0 = 60°$ față de orizontală cu viteza $\vec{v}_0 = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. a) Sub ce unghi față de orizontală se mișcă corpul după 1,5 s de la începerea mișcării ? Dar după 2,5 s ? b) După cît timp unghiul de mișcare a corpului față de orizontală va fi de 45^0 ? La ce înălțime se va găsi acum corpul ?

□ 2.18. Două corpuri sînt aruncate sub unghiuri diferite și cu viteze inițiale diferite. Să se arate că în tot timpul mișcării viteza relativă a celor două corpuri este constantă în mărime și orientare.

△ 2.19. Pentru ce valori ale unghiului de aruncare cu orizontala o piatră ajunge la țintă într-un timp de n ori ($n = 2$) mai mare decît la mișcarea uniformă în linie dreaptă cu o viteză egală cu viteza inițială a aruncării ?

□ 2.20. O piatră a fost aruncată de la înălțimea $h = 2{,}1$ m sub unghiul $\alpha = 45°$ și a căzut pe pămînt la distanța $s = 42$ m măsurată pe orizontală. Să se afle viteza inițială, durata mișcării și înălțimea maximă față de pămînt.

□ 2.21. O bilă elastică, aflată deasupra unui plan înclinat sub unghiul $\alpha = 37°$ cu orizontala cade de la înălțimea $h = 20$ cm. Să se afle distanța dintre punctele în care bila lovește planul prima și a doua oară.

△ 2.22. O piatră este aruncată cu $v_0 = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ sub unghiul $\alpha = 60°$ cu orizontala. Să se calculeze raza de curbură R a traiectoriei: a) în punctul situat la înălțimea maximă ; b) în momentul căderii pe pămînt.

§ 3. Legile dinamicii. Lucrul mecanic, puterea, energia mecanică

I. Dacă un corp se mișcă astfel încît vitezele și accelerațiile tuturor punctelor diferă foarte puțin între ele, mișcarea corpului se poate studia ca și mișcarea unui punct material.

II. Accelerația cu care se mișcă un punct material este $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ unde $\vec{F}$ este suma vectorială a tuturor forțelor care acționează asupra corpului, iar m este masa lui.

III. Variația impulsului unui corp sub acțiunea unei forțe $\vec{F}$ într-un timp Δt este $\Delta\vec{H} = \Delta\overrightarrow{(mv)} = \vec{F}\cdot\Delta t$.

IV. Centrul de masă al unui sistem de puncte materiale (care se mișcă independent sau alcătuiesc un corp solid) este punctul de coordonate $x_0 = \frac{\sum mx}{\sum m}$;

$y_0 = \frac{\sum my}{\sum m}$; $z_0 = \frac{\sum mz}{\sum m}$.

Cu aceleași formule se calculează coordonatele centrului de greutate al unui sistem cînd acesta se află într-un cîmp de gravitație omogen.

V. Într-un sistem izolat se conservă în modul și orientare : a) suma vectorială a impulsurilor tuturor părților sistemului ; b) viteza centrului de masă al sistemului.

VI. Într-un sistem neizolat accelerația centrului de masă se calculează prin formula $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ unde $\vec{F}$ este suma vectorială a tuturor forțelor care acționează asupra părților sistemului iar m este masa sistemului.

VII. Forța de frecare $f = \mu N$ unde N este rezultanta forțelor care se exercită normal la suprafața de contact dintre corpuri. În rezolvarea problemelor vom admite independența de viteză a coeficientului de frecare.

VIII. Lucrul mecanic : $L = F\cdot s\cos(\vec{F}, \vec{s})$

IX. Puterea : $P = \frac{\Delta L}{\Delta t} = F\cdot v$

X. Energia cinetică : $E_c = \frac{mv^2}{2}$.

XI. Energia potențială a unui sistem format de un corp ridicat la o înălțime h și pămînt este $E_p = mgh$.

XII. Într-un sistem izolat energia totală se conservă. Într-un sistem neizolat variația energiei sistemului este egală cu lucrul mecanic efectuat de forțele exterioare.

XIII. În problemele din acest paragraf vom subînțelege că mișcarea corpurilor înainte și după interacțiune (de exemplu înainte și după ciocnire) este o mișcare de translație.

○ 3.1. a) Un glonte cu masa $m = 10$ g avînd viteza $v = 200\frac{\text{m}}{\text{s}}$ pătrunde într-o scîndură pe o distanță $l = 4$ cm. Să se calculeze forța medie de rezistență F a scîndurii și timpul t de mișcare a glontelui în scîndură considerînd mișcarea uniform încetinită. b) Ce s-ar întîmpla la pătrunderea aceluiași glonte, într-o scîndură din același material, cu grosimea de 2 cm ? Ce impuls ar primi în acest caz scîndura ?

○ 3.2. Un autocamion cu frîne pe toate roțile trage o remorcă cu viteza de $30\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Autocamionul are masa de 5 000 kg iar remorca masa de 2 000 kg.

Care este distanța minimă la care se poate opri autocamionul dacă frînează cu roțile blocate? Coeficientul de frecare al anvelopelor pe asfalt este 0,6 iar rezistențele suplimentare reprezintă 0,03 din întreaga greutate.

○ 3.3. O masă de 1 kg legată la un dinamometru este ridicată vertical uniform accelerat, uniform și uniform încetinit și apoi revine în același mod. Valoarea absolută a accelerației este 0,5 m/s². Ce indică dinamometrul în toate aceste cazuri?

△ 3.4. De capetele unui fir trecut peste un scripete sînt legate două corpuri cu masele m_1 și m_2 ($m_2 = nm_1$) (vezi figura 3.4). Dacă sistemul este lăsat liber să se calculeze înălțimea maximă la care se ridică masa m_1. Se dă $h_2 = 30$ cm. Aplicație $n = 2$.

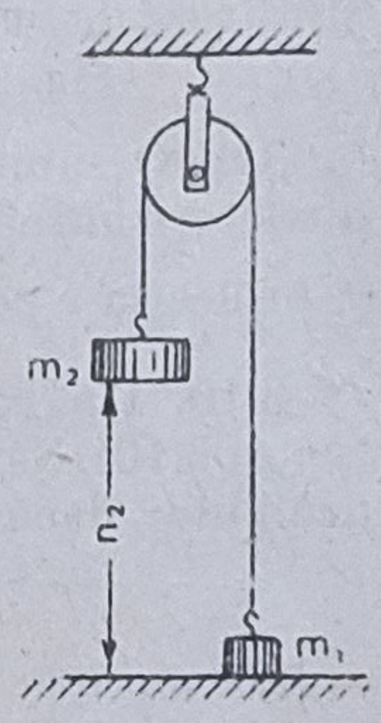


Fig. 3.4.

△ 3.5. Un om legat de un balon de cauciuc plin cu hidrogen are, împreună cu balonul, o masă de n ori ($n = 1{,}1$) mai mare decît masa aerului dizlocuit. Presupunînd că în timpul mișcării este antrenată și o masă de aer egală cu masa dizlocuită, să se calculeze: a) accelerația cu care cade omul legat de balon; b) la ce înălțime maximă se va ridica omul legat de balon dacă sărind cu aceeași viteză, fără balon, atinge înălțimea de 20 cm?

△ 3.6 Două scînduri, legate între ele printr-un fir trecut peste un scripete (vezi figura 3.6) se pun în mișcare sub acțiunea greutății scîndurii B. a) Să se afle tensiunea în firul de legătură dacă $m_A = 200$g și $m_B = 300$g, iar coeficientul de frecare este $\mu = 0{,}25$. b) Cum se modifică răspunsul dacă inversăm cele două scînduri? c) Să se calculeze forța care acționează asupra axei scripetelui în cazurile a) și b).

□ 3.7. Pentru ilustrarea legii a II-a a dinamicii se poate folosi dispozitivul reprezentat în figura 3.7. Căruciorul m_2 se pune în mișcare, inițial sub acțiunea greutății corpului de masă m_1 și apoi sub acțiunea unei greutăți de n ori ($n = 2$) mai mari. a) Se poate afirma că, în absența frecării, accelerația mișcării în al doilea caz va fi de n ori mai mare decît în primul? b) Cu cît este egal raportul accelerațiilor dacă $m_1 = 30$ g, $m_2 = 200$ g iar $\mu = 0{,}1$? c) Pentru ce valoare a coeficientului de frecare accelerația în cazul al doilea va fi de n ori mai mare decît în primul?

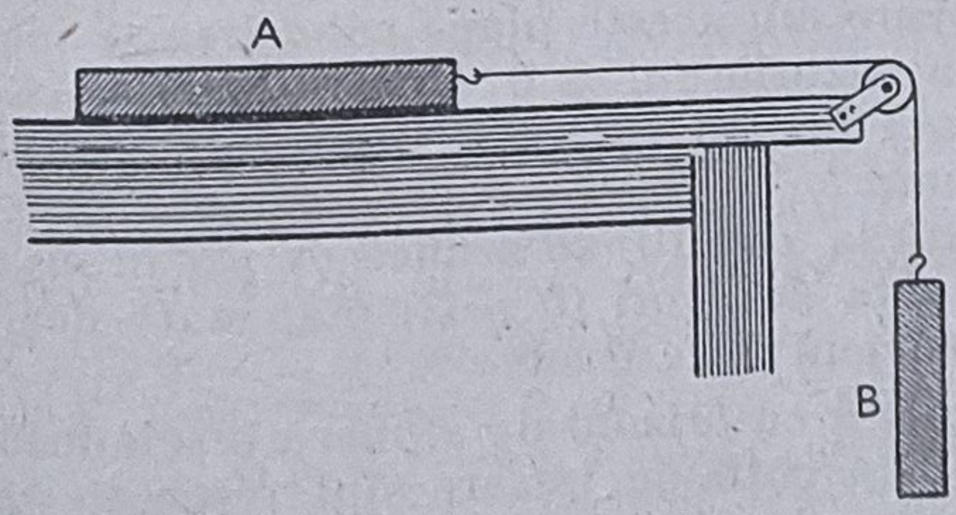


Fig. 3.6.

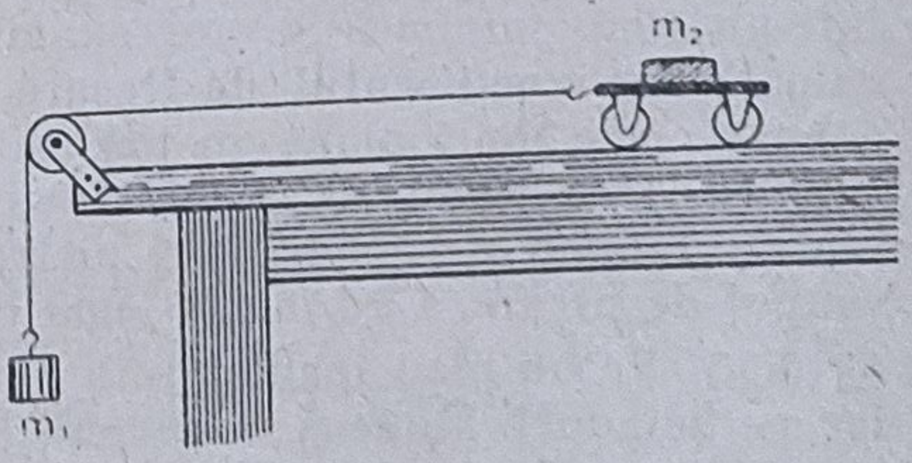


Fig. 3.7.

△ 3.8. Să se calculeze accelerația cu care se mișcă corpul de masă m_1 (vezi figura 3.8). Se neglijează frecarea și masa scripeților. Se vor examina următoarele cazuri: a) $m_1 = m_2$; b) $m_1 \ll m_2$; c) $2m_1 = m_2$; d) $m_1 \gg m_2$.

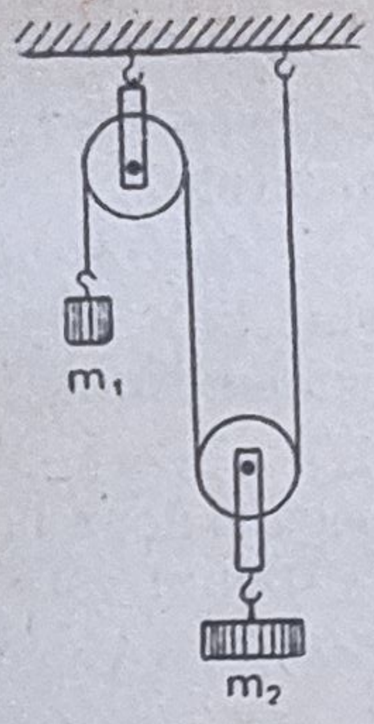


Fig. 3.8.

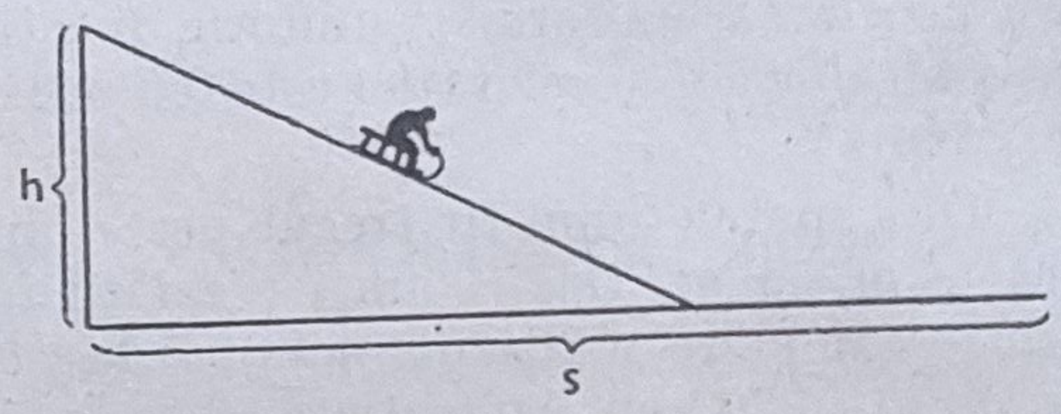


Fig. 3.9.

○ 3.9. O săniuță coboară pe o pîrtie înclinată și își continuă drumul pe o pîrtie orizontală pînă la oprire (vezi figura). Cunoscînd înălțimea h a planului și proiecția s pe orizontală a drumului străbătut să se arate că $\mu = \frac{h}{s}$.

○ 3.10. Un corp este ridicat uniform din punctul B în punctul A (vezi figura 3.10). Să se arate că lucrul mecanic necesar ridicării nu depinde de forma drumului dacă coeficientul de frecare păstrează aceeași valoare.

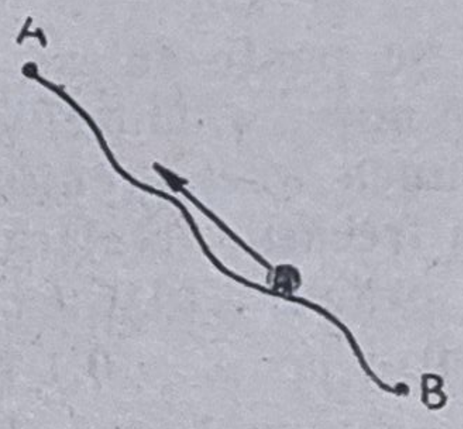


Fig. 3.10.

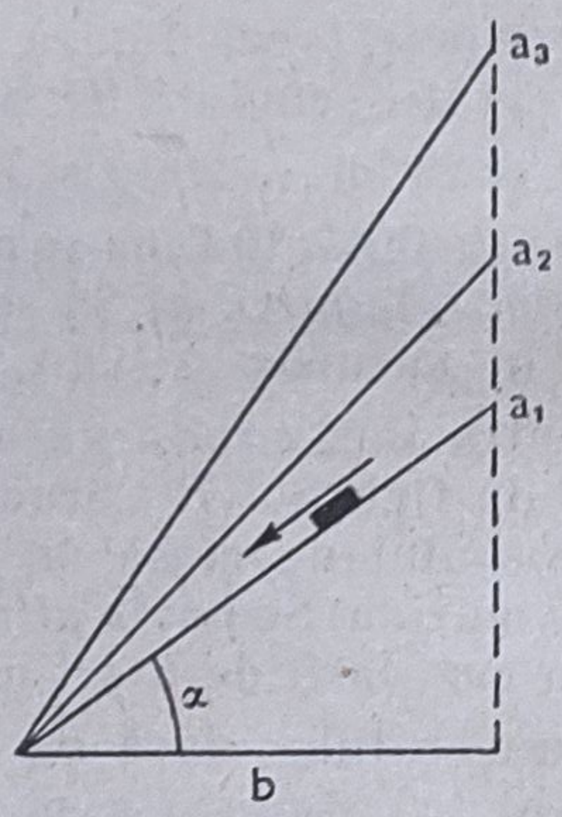


Fig. 3.11.

△ 3.11. Un corp poate coborî, cu frecare, pe mai multe plane înclinate avînd aceeași bază (vezi figura 3.11). a) Pe care din aceste plane coborîrea se face într-un timp minim? Se vor examina cazurile: $\mu \approx 0$ și $\mu = 0{,}25$. b) Ce valoare are coeficientul de frecare dacă pentru $\alpha_1 = 60°$ și $\alpha_2 = 45°$ corpul coboară cele două plane în același timp?

△ 3.12. Pe o pantă de gheață înclinată la $\alpha = 10°$ se aruncă de jos în sus o piatră. Timpul de coborîre al pietrei este de n ori ($n = 2$) mai mare decît timpul de urcare. Cu cît este egal coeficientul de frecare?

□ 3.13. Pe un plan înclinat sub unghiul α cu orizontala alunecă o scîndură, iar pe scîndură alunecă o stinghie. Coeficienții de frecare sînt respectiv μ_1 și μ_2. Să se afle accelerația a_1 a scîndurii și accelerația a_2 a stinghiei. Se vor considera cazurile: a) $\operatorname{tg}\alpha > \mu_1 = \mu_2$; b) $\operatorname{tg}\alpha > \mu_1 > \mu_2$; c) $\operatorname{tg}\alpha > \mu_2 > \mu_1$; d) $\mu_2 > \operatorname{tg}\alpha > \mu_1$; e) $\mu_1 > \operatorname{tg}\alpha > \mu_2$.

○ 3.14. O bilă de oțel cu masa 10 g cade pe o masă orizontală de la înălțimea de 25,6 cm. În urma ciocnirii, care durează 10^{-4} s, bila sare la înălțimea de 19,6 cm. Care este forța medie cu care bila a acționat asupra mesei?

○ 3.15. Unele animale de apă (de exemplu caracatița) se deplasează în modul următor: în interiorul corpului animalului se află o cavitate care comunică cu exteriorul. Animalul își poate mări volumul cavității (și în acest caz apa pătrunde în cavitate) sau și-l poate micșora aruncînd apa în afară. Cum se va mișca animalul în cele două cazuri?

○ 3.16. Cînd oscilează o coardă, viteza și deci impulsul ei variază de la un moment la altul. Cum poate fi pus de acord acest fapt cu legea conservării impulsului?

△ 3.17. Cu dispozitivul din figură se ilustrează în laborator legea a III-a a dinamicii. Prin arderea firului F arcul A se destinde și împinge cele două cărucioare. În ce raport se vor găsi distanțele parcurse de cărucioare pînă la oprire dacă raportul maselor lor este 1/3?

□ 3.18. O rachetă, inițial în repaus, aruncă un jet uniform de gaze cu viteza de $v_1 = 300\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (în raport cu racheta). Masa inițială a rachetei este $m = 270$ g, iar debitul gazelor evacuate este $\mu = 90\ \frac{g}{s}$. a) După cît timp de la pornire racheta va căpăta viteza $v_2 = 40\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$? b) Ce viteză va căpăta racheta dacă încărcătura are masa $m_0 = 180$ g? Rezistența aerului se neglijează.

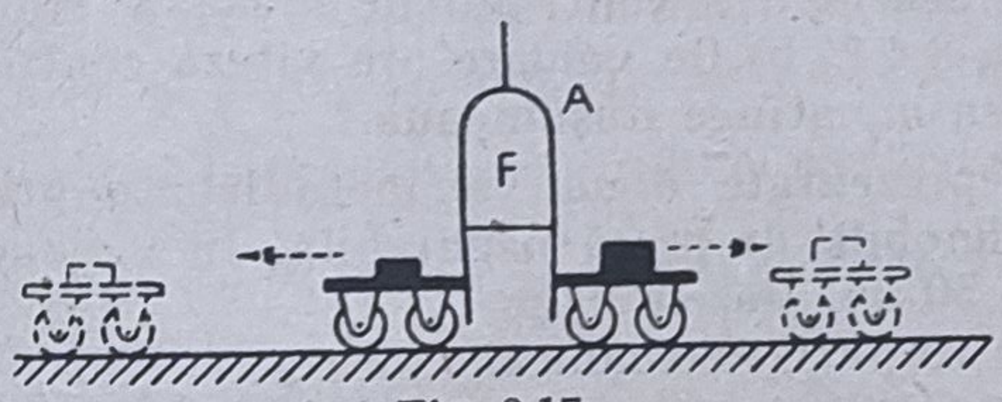


Fig. 3.17.

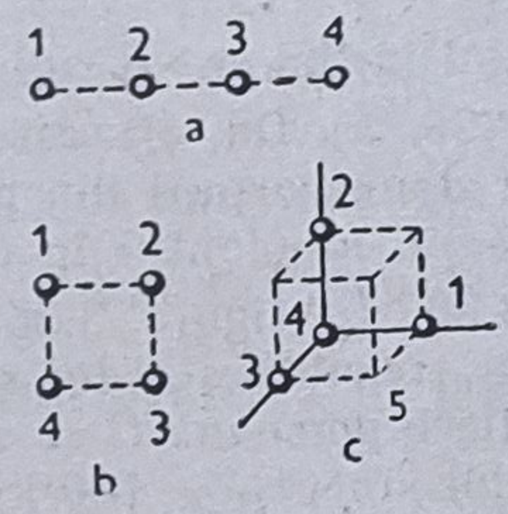


Fig. 3.19.

○ 3.19. Să se găsească poziția centrului de masă (centrului de greutate) pentru sistemele reprezentate în figura 3.19. Cifrele indică valoarea în grame a masei fiecărei bile iar distanța dintre două bile vecine este 10 cm.

△ 3.20. Să se afle poziția centrului de masă: a) al corpului reprezentat în figura 3.20 (cilindrii sînt făcuți din același material); b) al unei plăci subțiri, omogene, avînd forma secțiunii axiale a cilindrilor din figură.

△ 3.21. Să se afle poziția centrului de masă al unui disc circular omogen cu raza $r_1 = 5$ dm în care se află un gol circular cu raza $r_2 = 3$ dm. Distanța dintre centrele discului și golului este $d = 1$ dm (vezi figura 3.21).

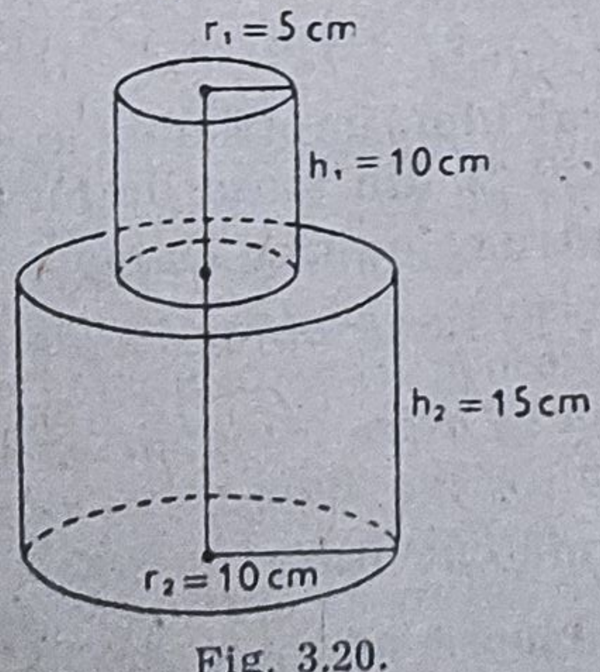


Fig. 3.20.

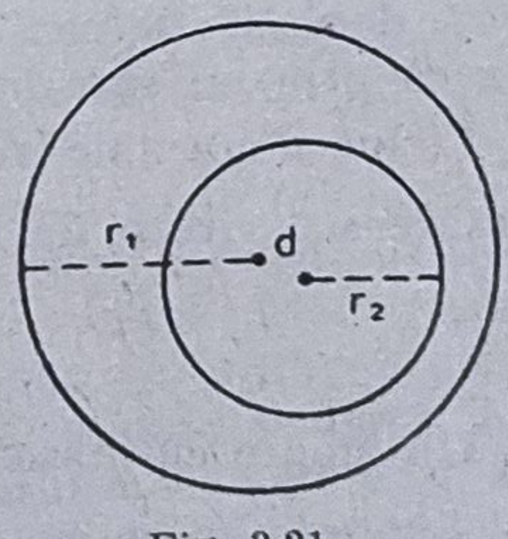


Fig. 3.21.

□ 3.22. Două corpuri identice avînd forma de con circular drept sînt așezate pe o suprafață orizontală, unul sprijinit pe bază, iar celălalt pe o suprafață laterală. Știind că în aceste poziții cele două corpuri au energii potențiale egale să se afle unghiul format de axă și generatoarea conului.

△ 3.23. Două corpuri punctiforme formează un sistem izolat, iar centrul lor de masă se află în repaus. Raportul maselor corpurilor este $\frac{m_1}{m_2} = 2$. În figură este reprezentată poziția corpurilor la un moment oarecare precum și traiectoria corpului de masă m_1. Să se construiască prin puncte traiectoria masei m_2.

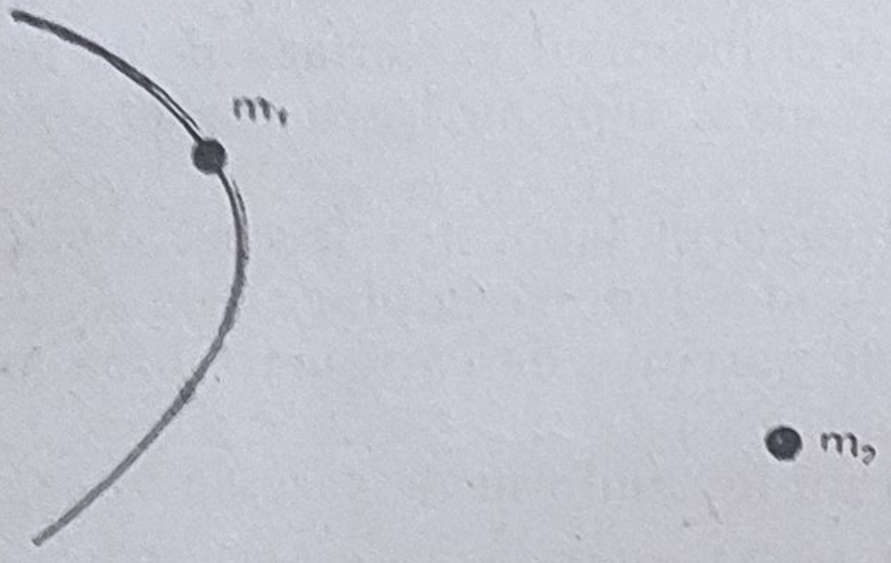


Fig. 3.23.

△ 3.24. La capetele unei vergele omogene se află două sfere identice. Vergeaua este aruncată astfel încît în momentul inițial una din sfere se mișcă cu viteza de $32 \frac{m}{s}$ sub un unghi de 60° cu orizontala, iar cealaltă se mișcă în aceeași direcție, dar în sens opus, cu viteza de $4 \frac{m}{s}$. La ce înălțime față de nivelul inițial se va ridica mijlocul vergelei?

△ 3.25. a) Cu cît este egală accelerația centrului de masă a sistemului celor două corpuri din problema 3.4? b) Ce valoare are viteza centrului de masă, în momentul în care masa m_2 atinge dușumeaua?

□ 3.26. În figura 3.26 sînt reprezentate două vagonete legate printr-un cablu trecut peste doi scripeți imobili, de masă neglijabilă. În vagonetul A se află o persoană C cu masa de 50 kg. Masele vagonetelor sînt $m_A = 100$ kg, $m_B = 150$ kg. Persoana C se deplasează de-a lungul vagonetului cu 1,2 m spre dreapta și se oprește. a) Cum se vor deplasa vagonetele? b) Cu cît se va deplasa centrul de masă al sistemului? c) Să se răspundă la întrebările a) și b) dacă cele două cărucioare ocupă poziția din figura 3.26, *b*. d) Cum este orientată forța rezultantă care acționează asupra axelor scripeților?

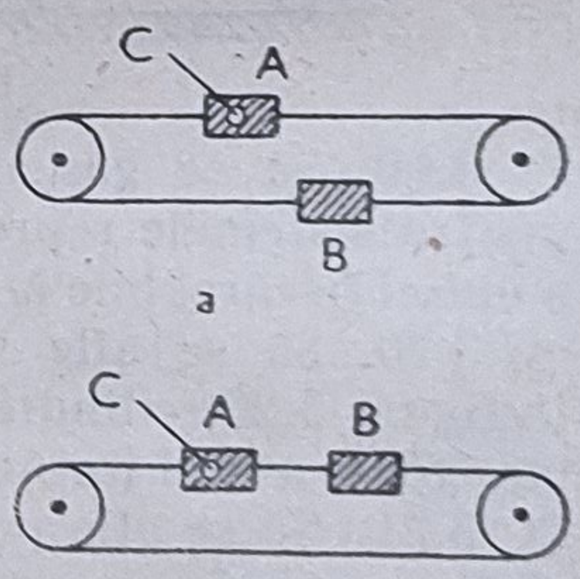


Fig. 3.26.

□ 3.27. O barcă se află în repaus pe un lac. La cele două capete sînt așezați doi pescari la distanța de 2 m. Masa bărcii este 140 kg, iar masele pescarilor sînt 70 kg și 40 kg. Pescarii își schimbă locurile. Cum se va deplasa barca? Indicații: În calculul impulsului apei se va considera că prin mișcare barca antrenează 20 % din masa dezlocuită.

○ 3.28. Ce lucru mecanic trebuie efectuat pentru ca un tren cu masa de 800 t: a) să-și mărească viteza de la $36 \frac{km}{h}$ la $54 \frac{km}{h}$? b) să se oprească de la viteza de $72 \frac{km}{h}$?

○ 3.29. Un glonte cu masa 9,6 g iese din armă cu viteza de $880 \frac{m}{s}$. Pentru a atinge această viteză gazele efectuează un lucru mecanic de 13 300 J în

timp de $1{,}47 \cdot 10^{-3}$ s. Să se calculeze puterea totală și puterea utilă a împușcăturii.

△ 3.30. Masa unui tren este de 2 000 t. Considerînd că locomotiva dezvoltă o putere constantă de 1 800 kW iar coeficientul de frecare este 0,005 să se afle : a) accelerațiile trenului în momentele cînd viteza lui este $4\frac{m}{s}$ și $12\frac{m}{s}$; b) viteza maximă a trenului.

△ 3.31. Panta unei porțiuni dintr-o șosea este 0,05. Coborînd panta cu motorul decuplat un automobil se mișcă uniform cu $60\frac{km}{h}$. Ce putere trebuie să dezvolte motorul pentru ca automobilul să urce aceeași pantă cu aceeași viteză ? Masa automobilului este 1,5 t.

△ 3.32. Un automobil urcă o pantă lină cu viteza de $3\frac{m}{s}$. Coborînd aceeași pantă, la aceeași putere dezvoltată de motor, el va avea viteza de $7\frac{m}{s}$. Ce viteză va avea automobilul pe un drum orizontal dacă puterea motorului rămîne neschimbată ?

△ 3.33. Un patinator cu masa $m = 50$ kg se oprește în $t = 25$ s parcurgînd un spațiu $s = 60$ m. Considerînd mișcarea uniform încetinită să se afle : a) coeficientul de frecare ; b) puterea cheltuită de patinator la mersul uniform.

○ 3.34. O piatră cu masa de 50 g este aruncată sub un anumit unghi față de orizontală de la înălțimea de 20 m cu viteza de $18\frac{m}{s}$. Piatra a căzut la pămînt cu viteza de $24\frac{m}{s}$. Să se afle lucrul mecanic cheltuit pentru a învinge rezistența aerului.

△ 3.35. O piatră cu masa $m = 200$ g este aruncată oblic pe o suprafață orizontală și revine pe aceeași suprafață la distanța $s = 5$ m de locul aruncării, după $t = 1{,}2$ s. Neglijînd rezistența aerului să se afle lucrul mecanic necesar pentru efectuarea aruncării.

△ 3.36. În figură este reprezentat un dispozitiv cu ajutorul căruia se poate demonstra compunerea impulsurilor unei bile C lovită simultan de ciocănelele A și B. Să se arate că distanța s străbătută în acest caz de bila C este egală cu suma distanțelor s_1 și s_2 străbătute de bilă lovită pe rînd de ciocănelul A și apoi de ciocănelul B.

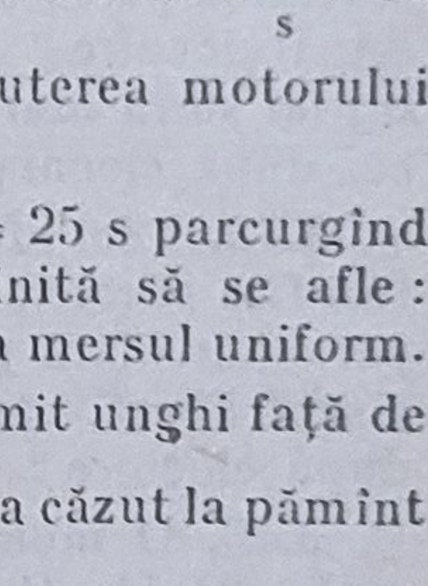


Fig. 3.36.

□ 3.37. Să se arate că la ciocnirea elastică a corpurilor viteza lor relativă își modifică direcția dar rămîne neschimbată în modul. Indicație. Pentru simplificarea rezolvării se va alege un sistem de referință în raport cu care centrul de masă se află în repaus.

△ 3.38. În tehnica nucleară este necesar adesea să se micșoreze viteza neutronilor care apar în procesele de fisiune nucleară. Aceasta se realizează prin folosirea moderatorilor (grafit, apă grea etc.), astfel că ciocnirea elastică se produce între neutroni și nucleele de carbon sau de hidrogen greu (deuteriu). a) De cîte ori se micșorează energia cinetică a unui neutron în urma unei ciocniri centrale cu un nucleu de carbon a cărui masă este de $n = 12$ ori mai mare decît masa neutronului ? b) Aceeași întrebare pentru cazul cînd, după

ciocnire, neutronul are o direcție de mișcare perpendiculară pe direcția inițială ? c) Să se răspundă la întrebările a) și b) dacă ciocnirea are loc cu un nucleu de deuteriu a cărui masă este aproximativ de 2 ori mai mare decît masa neutronului.

△ 3.39. Să se arate că variația energiei cinetice a corpurilor în cazul ciocnirii plastice depinde numai de viteza relativă a lor înainte de ciocnire și de masele lor.

△ 3.40. Un ciocan cu masa de 1,5 t lovește un corp așezat pe o nicovală, deformîndu-l. Masa corpului și a nicovalei este de 20 t. Să se calculeze randamentul ciocnirii. (Ciocnirea se consideră plastică.) Observație : Energia cinetică rezultată în urma ciocnirii de transmite fundamentului și nu servește la deformarea corpului.

△ 3.41. Două sfere de oțel, tangente, sînt suspendate de două fire astfel încît centrele lor de greutate se află la $l = 1$ m depărtare de punctele de suspensie ale firelor. Masele sferelor sînt $m_1 = 800$ g și $m_2 = 200$ g. Sfera de masă m_2 este depărtată la un unghi $\alpha = 90°$ și lăsată liberă. Considerînd ciocnirea perfect elastică să se calculeze : a) la ce înălțime se vor ridica sferele după ciocnire ? b) ce se va întîmpla dacă vom repeta experiența depărtînd inițial sfera mai mare ? c) cu cît trebuie să fie egal raportul maselor pentru ca, după ciocnire, ele să se ridice la aceeași înălțime ?

△ 3.42. Trei sfere elastice identice, tangente între ele, sînt suspendate de trei fire paralele de aceeași lungime. Una din sfere este deviată într-o direcție perpendiculară pe dreapta care unește centrele celorlalte două sfere și, fiind lăsată liberă, capătă înainte de ciocnire viteza v. Care vor fi vitezele sferelor după ciocnire ?

△ 3.43. O moleculă a unui gaz, aflată în mișcare rapidă, ciocnește o altă moleculă identică aflată în repaus. După ciocnire cele două molecule se îndreaptă în direcții diferite. Să se arate că unghiul dintre direcțiile de mișcare după ciocnire este : a) 90° dacă ciocnirea este elastică (deci energia internă a moleculelor rămîne neschimbată în urma ciocnirii) ; b) mai mic decît 90° dacă ciocnirea este neelastică (energia internă crește, cel puțin una din molecule trece în stare „excitată") ; c) mai mare decît 90° dacă energia internă scade (cel puțin una din molecule trece din starea „excitată" în stare normală).

△ 3.44. Pentru determinarea vitezei gloanțelor prin așa-numita metodă balistică, se folosește un corp de lemn de masă m_2 (sau o cutie cu nisip), suspendat cu 8 fire ca în figura 3.44. Distanța de la suprafața orizontală a cor-

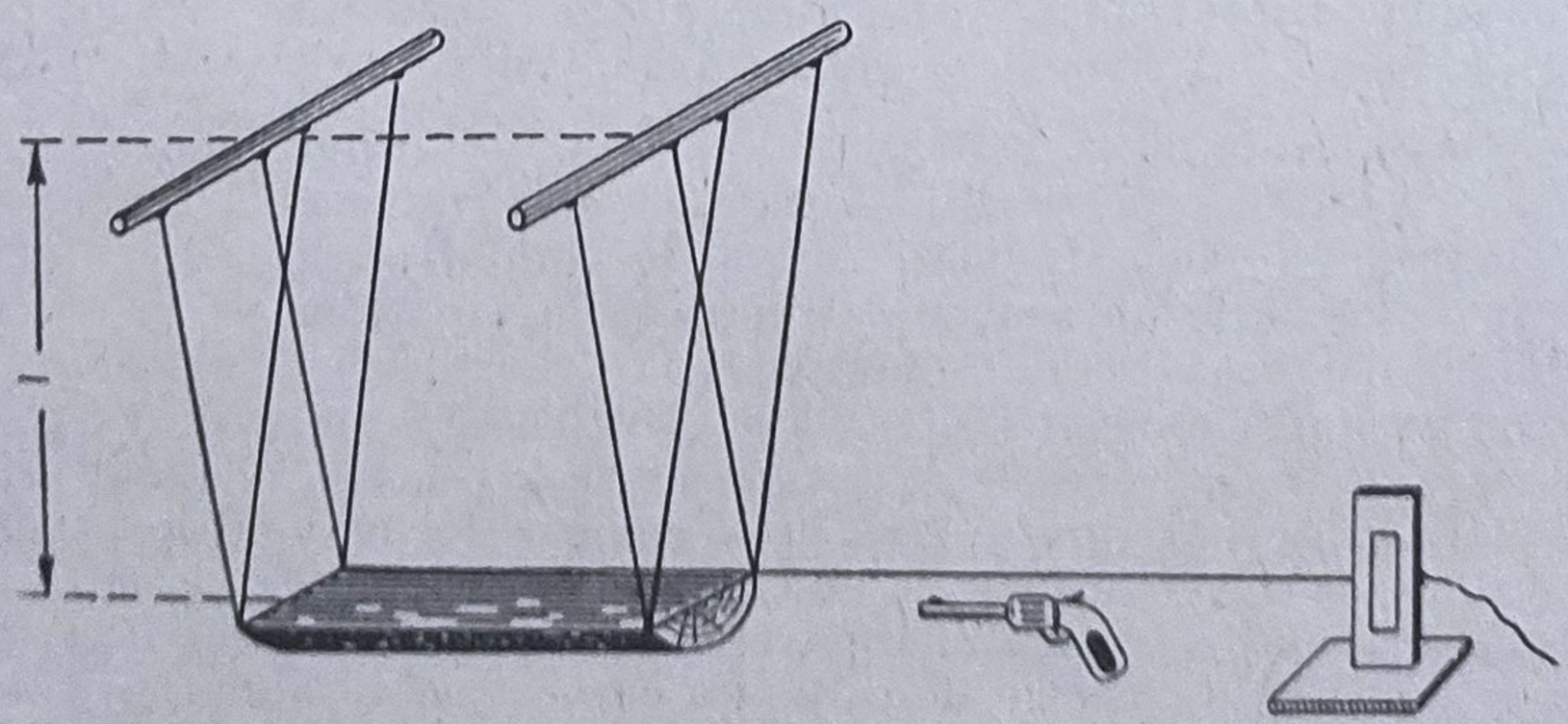


Fig. 3.44.

pului de lemn la punctele de suspensie ale firelor este l. De acest corp este legat un fir de aţă care, fiind prins uşor între un suport şi o bucată de carton, rămîne întins la mişcarea corpului de lemn spre stînga. Glontele pătrunde în corpul de lemn care se va mişca astfel că firul de aţă trece pe sub carton cu o lungime $s \ll l$. Cunoscînd că masa glontelui $m_1 \ll m_2$ să se arate că viteza glontelui se poate afla prin formula $v = \frac{m_2 s}{m_1}\sqrt{\frac{g}{l}}$.

□ 3.45. Peste doi scripeţi mici, aflaţi la aceeaşi înălţime şi la distanţa de 90 cm, este trecut un fir de capetele căruia sînt legate două corpuri de greutăţi egale. La mijlocul distanţei dintre scripeţi se leagă un alt fir de care este suspendat un corp de greutate egală cu celelalte. În poziţia iniţială firul trecut peste scripeţi este întins. Se lasă liber corpul din mijloc. a) Cu ce viteză se mişcă corpurile în momentul cînd unghiurile dintre fire au 120° ? b) Ce distanţă va străbate corpul din mijloc pînă va începe să urce ?

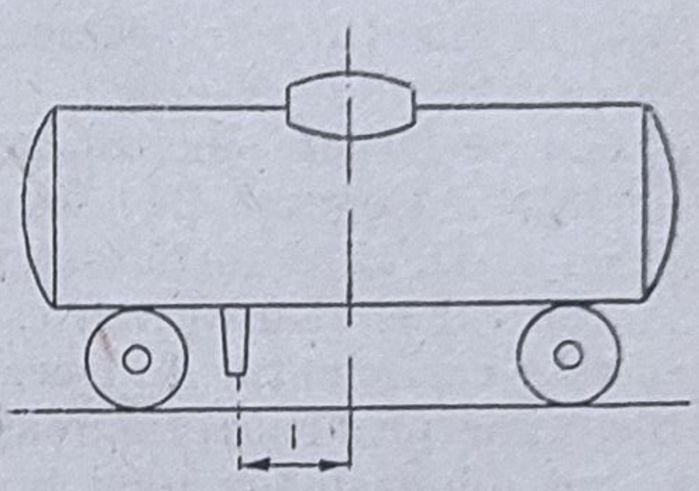


Fig. 3.46.

□ 3.46. O cisternă cu apă este prevăzută dedesubt cu un tub de scurgere aşezat vertical, mai aproape de unul din capete. Cum se va mişca cisterna cînd apa se va scurge prin tub ? (Se neglijează frecările).

§ 4. Dinamica mişcării de rotaţie

I. Un punct material are o mişcare circulară şi uniformă dacă suma vectorială a forţelor care acţionează asupra lui este orientată spre centru şi egală cu $mR\omega^2$ (m — masa, ω — viteza unghiulară, R — raza traiectoriei). Aceeaşi formulă este valabilă şi pentru un sistem de puncte materiale (de exemplu un corp solid de dimensiuni finite), în cazul cînd pe cercul de rază R se mişcă centrul de masă al sistemului.

II. Un corp solid, aflat sub acţiunea unui moment de rotaţie $\mathfrak{M}$ se mişcă cu acceleraţia unghiulară $\varepsilon = \frac{\mathfrak{M}}{J}$ unde J este momentul de inerţie al corpului în raport cu axa de rotaţie.

III. Energia cinetică a unui corp solid în mişcare de rotaţie este $E_c = \frac{J\omega^2}{2}$.

IV. Lucrul mecanic efectuat sub acţiunea unui moment $\mathfrak{M}$ pentru a roti un corp cu unghiul φ este $L = \mathfrak{M}\varphi$.

V. Puterea necesară la rotaţia unui corp : $P = \mathfrak{M}\omega$.

VI. Suma vectorială a momentelor cinetice ale corpurilor ce formează un sistem izolat este constantă în modul şi orientare.

VII. Momentele de inerţie ale cîtorva corpuri : a) al unui cilindru cu pereţii subţiri, în raport cu axa sa : $J = mr^2$; b) al unei bare subţiri de lungime l în raport cu axa de simetrie perpendiculară pe direcţia ei : $J = \frac{ml^2}{12}$; c) al unui cilindru omogen, în raport cu axa sa : $J = \frac{mr^2}{2}$; d) al unei sfere în raport cu o axă care trece prin centrul său : $J = 0{,}4\ mr^2$.

VIII. Formula lui Steiner : $J = J_0 + mb^2$ în care J_0 este momentul de inerţie al corpului în raport cu o axă care trece prin centrul său de greutate J este momentul de inerţie în raport cu o axă paralelă cu prima, iar b este distanţa dintre cele două axe.

IX. Relaţia dintre momentele de inerţie ale unei plăci subţiri în raport cu trei axe perpendiculare, care trec prin centrul de masă al plăcii (prima axă este perpendiculară pe plan) : $J_1 = J_2 + J_3$.

X. Forţa de inerţie în cazul unui corp care se mişcă cu viteza v în raport cu un sistem de referinţă, aflat în mişcare de rotaţie cu viteza unghiulară ω are expresia $F = 2mv \sin (\vec{v}\vec{\omega})$ şi este orientată perpendicular pe planul determinat de vectorii $\vec{v}$ şi $\vec{\omega}$.

XI. În cazul frecării de rostogolire ia naştere un moment de rotaţie rezistent $\mathfrak{M} = Nkr$ unde N este forţa de apărare normală, k este coeficientul adimensional de frecare de rostogolire, r este razə de curbură. La contactul cu suprafaţa acţionează de asemenea forţa de frecare de repaus F orientată tangenţial. Dacă o forţă exterioară care acţionează asupra roţii este aplicată în centrul ei şi mişcarea este uniformă $F = Nk$. Dacă forţa $F > Nk_1$, unde k_1 este coeficientul de frecare de repaus, atunci roata patinează. În enunţurile unor probleme figurează coeficientul de frecare de rostogolire $k' = kr$, avînd dimensiunea unei lungimi.

○ 4.1. O bilă cu masa de 100 g, legată de o sfoară, se mişcă într-un plan vertical pe un cerc cu raza de 30 cm. Să se afle tensiunea în fir : a) în punctul cel mai de sus al traiectoriei, în care viteza bilei este $210 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$; b) în punctul cel mai de jos al traiectoriei.

○ 4.2. a) Un corp cu masa de 1 g, aflat la Ecuator, cîntăreşte 978,0 dyn ($1 \text{ dyn} = 10^{-5}$ N). Raza Pămîntului la Ecuator fiind 6 378 km să se afle forţa cu care Pămîntul atrage acest corp. b) Cît ar cîntări acelaşi corp la ecuator, dacă Pămîntul s-ar roti de 10 ori mai repede ?

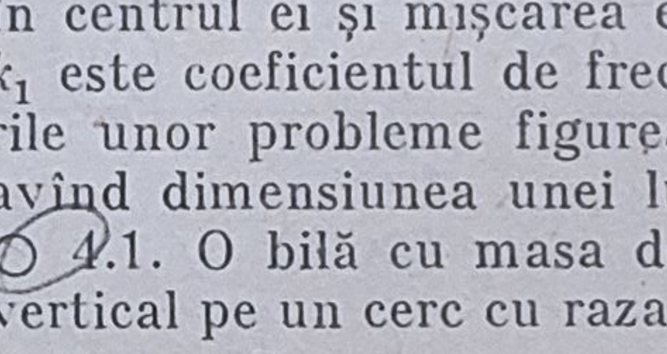


Fig. 4.3.

△ 4.3. Cu dispozitivul din figura 4.3 se demonstrează dependenţa forţei centrifuge de masă şi distanţa la axa de rotaţie. Sferele A şi B au diametrele de 3 cm şi 2 cm şi sînt făcute din acelaşi material, iar firul de legătură are lungimea $l = 10{,}5$ cm. Volumul canalelor din cele două sfere este foarte mic în comparaţie cu volumul sferelor. Coeficientul de frecare este $\mu = 0{,}05$ iar viteza unghiulară cu care se roteşte dispozitivul este $\omega = 20 \text{ s}^{-1}$. Dacă distanţa de la sfera A la axa de rotaţie este cuprinsă într-un interval $x \pm \Delta x$ sferele rămîn în echilibru în timpul mişcării de rotaţie. Să se afle x şi Δx.

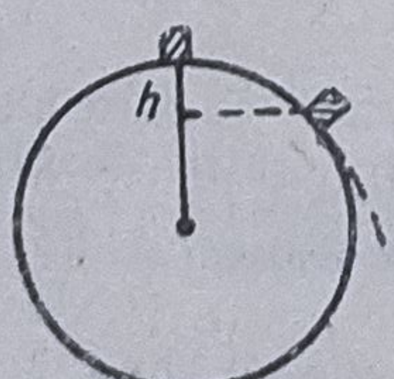


Fig. 4.4.

△ 4.4. Din vîrful unei sfere alunecă fără frecare un mic corp (vezi figura 4.4). Să se afle distanţa h corespunză toare punctului în care corpul se desprinde de pe sferă.

△ 4.5. a) Un mic corp alunecă fără frecare pe un plan înclinat de la înălţimea h şi apoi

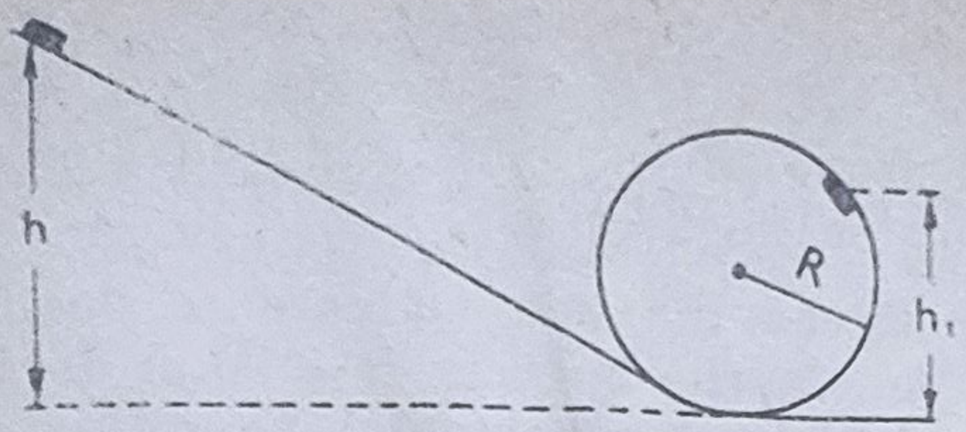


Fig. 4.5.

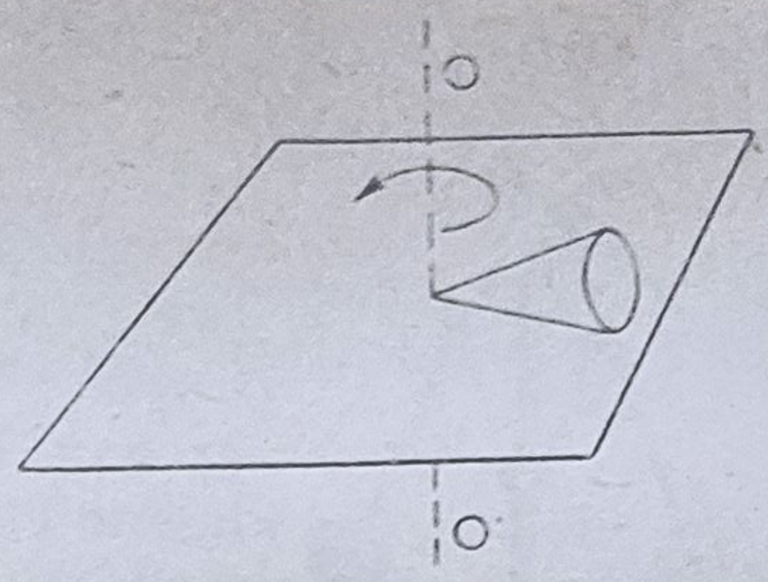


Fig. 4.6.

trece pe partea interioară a unui canal circular de rază R (vezi figura 4.5). Care este înălțimea h_1 de la care corpul va cădea? b) Să se afle h astfel încît corpul să poată parcurge bucla în întregime.

□ 4.6. Un con circular de oțel cu înălțimea 10 cm și diametrul bazei 7 cm se rotește fără să alunece pe o suprafață orizontală efectuînd o rotație completă în jurul axei OO' în 2 s (fig. 4.6). Să se afle coeficientul de frecare statică dintre generatoarea conului și suprafață.

□ 4.7. Un lănțișor metalic prins cu un fir este pus în mișcare de rotație cu ajutorul unei mașini centrifuge. Lănțișorul capătă o formă apropiată de aceea a unui cerc situat perpendicular pe axa de rotație (vezi figura 4.7). a) Lănțișorul poate avea forma unei curbe plane? b) Considerînd că lănțișorul are forma unui cerc situat într-un plan orizontal să se afle forța F de tensiune în lănțișor dacă el are masa $m = 100$ g, lungimea $l = 75$ cm și se rotește cu frecvența $\nu = 8\ s^{-1}$.

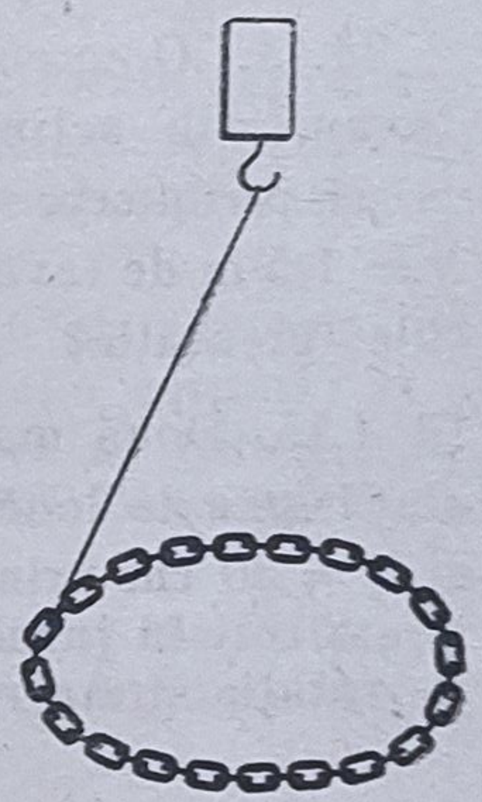


Fig. 4.7.

△ 4.8. În două eprubete prinse la o mașină centrifugă se află un lichid cu densitatea de 1,1 $\frac{g}{cm^3}$ și cu înălțimea de 6 cm în fiecare eprubetă. Prin rotire, cu frecvența $\nu = 20\ s^{-1}$, eprubetele ocupă o poziție aproape orizontală. Să se calculeze presiunea exercitată de lichid pe fundul fiecărei eprubete dacă acesta se află, în timpul rotației, la 10 cm de ax.

△ 4.9. Două mici sfere identice, elastice, prinse de un cîrlig cu două fire de aceeași lungime (vezi figura), sînt deviate sub unghiu α cu direcția verticală și apoi lăsate libere. Ce forță acționează asupra cîrligului: a) în poziția inițială, la deviația maximă? b) în momentele inițial și final ale ciocnirii? c) în momentul cînd deformația sferelor este maximă?

△ 4.10. Un corp legat de o sfoară este depărtat la 90° față de poziția de echilibru și apoi lăsat liber. Ce unghi cu verticala face firul în momentul în care componenta verticală a vitezei corpului este maximă?

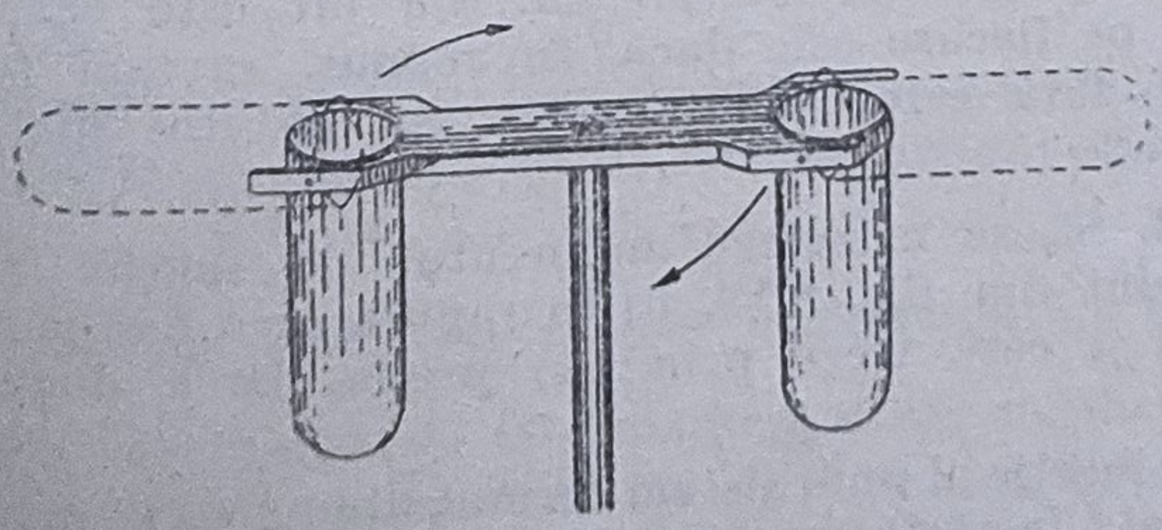


Fig. 4.8.

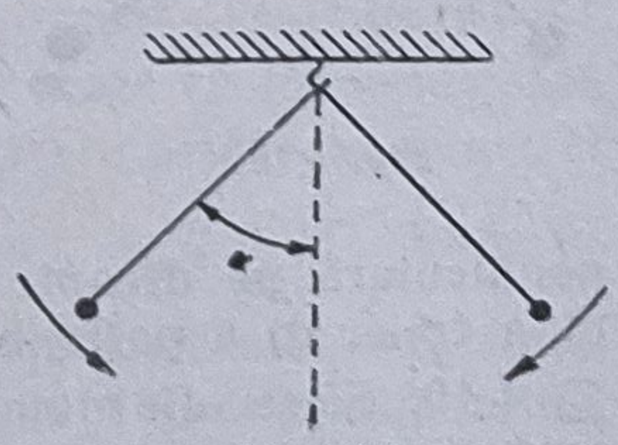


Fig. 4.9.

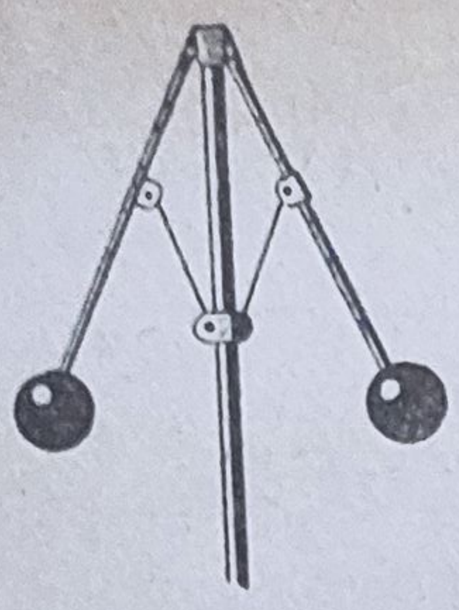


Fig. 4.11.

○ 4.11. Regulatorul centrifugal din figura 4.11 se rotește cu frecvența $\nu = 3\ s^{-1}$. Sub ce unghi deviază tijele de care sînt prinse cele două sfere? Tijele au lungimea $l = 14$ cm iar masa lor se neglijează.

○ 4.12. a) Să se afle viteza maximă cu care se poate înscrie un motociclist pe o curbă cu raza $R = 90$ m dacă coeficientul de frecare statică al cauciucului pe sol este $\mu = 0{,}4$? b) Sub ce unghi față de direcția verticală trebuie să se încline motociclistul ?

△ 4.13. La unele spectacole de circ un motociclist circulă pe pereții verticali ai unei construcții de formă cilindrică. a) Să se afle viteza minimă pe care trebuie să o aibă motocicleta dacă diametrul cilindrului este $d = 18$ m, centrul de greutate se află la distanța $h = 1$ m de punctul de contact al roților cu pereții, iar coeficientul de frecare este $\mu = 0{,}4$. b) Sub ce unghi cu planul orizontal se va înclina motociclistul la viteza de 20 m/s ?

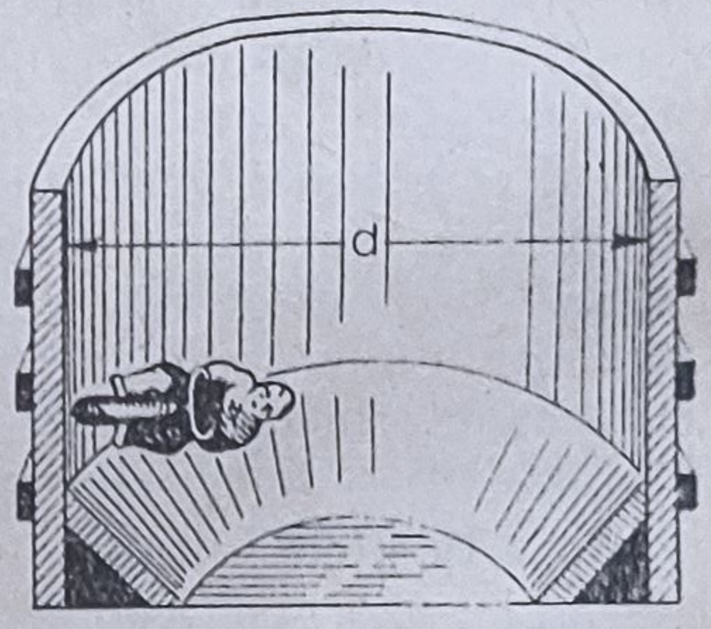


Fig. 4.13.

△ 4.14. O greutate, legată cu un fir de tavan, sub acțiunea unui impuls inițial, se mișcă pe un cerc situat într-un plan la distanța $h = 1{,}5$ m de tavan. Care este frecvența rotațiilor greutății ?

□ 4.15. Două mase $m_1 = 100$ g și $m_2 = 50$ g sînt legate de două fire cu lungimile $l_1 = 28$ cm și $l_2 = 30$ cm prinse de o altă masă legată cu o sîrmă de un cîrlig care se poate roti în jurul unei axe verticale (vezi figura 4.15). Pentru ce frecvență de rotație sîrma rămîne orientată vertical ?

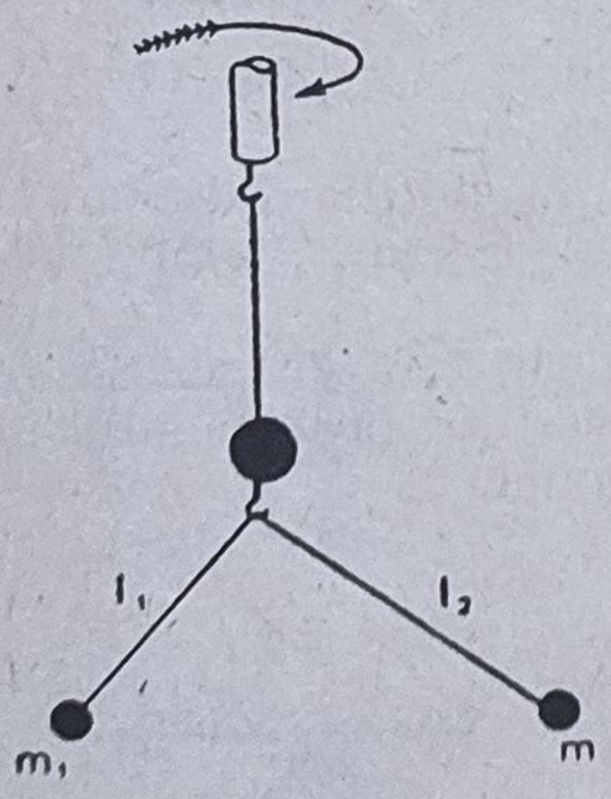


Fig. 4.15.

○ 4.16. Un motor cu puterea de 0,1 kW acționează un strung de tîmplărie cu care se prelucrează un butuc cilindric de lemn cu diametrul de 6 cm la o turație $n = 600\ min^{-1}$. Să se calculeze forța necesară strunjirii știind că, pentru strunjire, se folosește 80 % din puterea motorului.

△ 4.17. Motorul unui automobil dezvoltă o putere de 30 kW. Randamentul sistemului de transmisie este 90 %. Turația arborelui cotit este 180 min^{-1}, iar a osiei motoare din spate de 5,125 ori mai mică. Distanța dintre osii este 2,7 m. Cu cît este egală sarcina pe fiecare osie dacă, în repaus, sarcina pe osia din față este 7 900 N, iar pe cea din spate 9 100 N ?

○ 4.18. Să se calculeze momentul de inerție al sistemului din fig. 3.19, *a*) în raport cu o axă perpendiculară pe dreapta comună și care trece prin : a) prima, b) a doua, c) a treia, d) a patra bilă.

□ 4.19. Să se afle momentul de inerție al unui sistem format din patru puncte materiale de masă *m* fiecare aflate în vîrfurile unui pătrat de latură *a* în ra-

port cu o axă care trece prin centrul său în următoarele cazuri : a) axa situată în planul pătratului face cu diagonala un unghi ascuțit diferit de 45° ; b) axa nu este situată în planul pătratului.

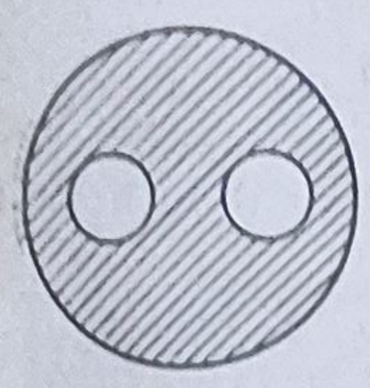


Fig. 4.20.

□ 4.20. Să se calculeze momentul de inerție al unui disc de cupru cu grosimea de 0,1 cm și raza de 5 cm avînd două goluri circulare cu raza de 2 cm dispuse simetric față de centrul discului. Distanța dintre centrele golurilor este egală cu raza discului. Se vor examina următoarele cazuri: a) axa este perpendiculară la planul discului și trece prin centrul său ; b) axa trece prin centrele golurilor ; c) axa trece prin centrul discului și este perpendiculară pe axele de la *a)* și *b)*.

○ 4.21. Două mici sfere ($m_1 = 40$ g, $m_2 = 120$ g) sînt unite printr-o tijă cu lungimea $l = 20$ cm, de masă neglijabilă. Sistemul se rotește în jurul unei axe perpendiculară pe tijă, care trece prin centrul de masă al sistemului, cu frecvența de 3 s^{-1}. Să se calculeze impulsul și momentul impulsului acestui sistem.

△ 4.22. Să se spună care sînt momentele forțelor și forțele care acționează în următoarele cazuri : a) o roată a unui vagon își mărește viteza în timpul accelerării mersului trenului ; b) o bilă se rostogolește pe o suprafață orizontală, încetinindu-și mișcarea.

△ 4.23. Să se calculeze accelerația cu care se mișcă pe un plan înclinat cu unghiul α față de orizontală, centrul de masă al următoarelor corpuri ; a) o scîndură care alunecă fără frecare ; b) un cilindru plin care se rostogolește fără frecare de rostogolire ; c) o scîndură așezată pe doi cilindri. Masa scîndurii este egală cu masa fiecărui cilindru.

△ 4.24. Pe două rigle paralele, aflate la distanța $d = 2$ cm și înclinate sub unghiul $\alpha = 5°$ se rostogolește o bilă cu raza $r = 1{,}5$ cm. Cu ce accelerație se rostogolește bila ? Alunecarea se neglijează.

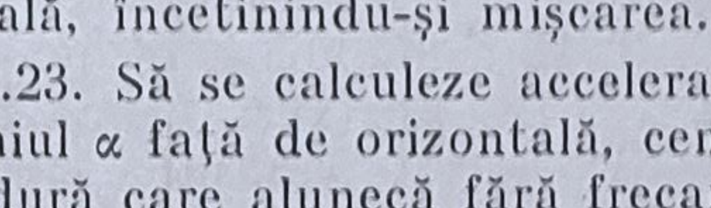


Fig. 4.24.

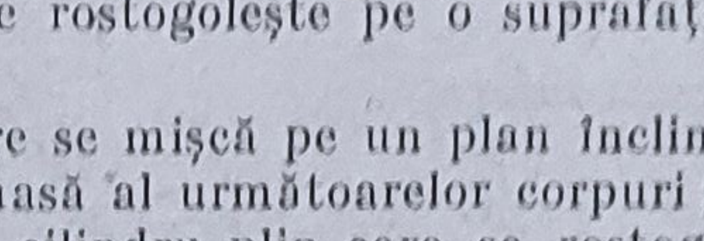


Fig. 4.25.

△ 4.25. O tijă subțire, așezată pe o masă netedă, primește, într-un punct oarecare A, un impuls în direcție orizontală. a) Să se arate că, în momentul loviri, tija se va roti în jurul unei axe verticale care trece printr-un punct O astfel că, dacă frecarea este neglijabilă, are loc relația : $S_1 S_2 = \frac{J_c}{m}$, unde m este masa tijei, J_c este momentul său de inerție în raport cu axa care trece prin centrul de masă C, iar S_1 și S_2 sînt distanțele de la A și O la centrul de masă. b) Ce se întîmplă dacă vom lovi tija în punctul O ? c) Pe unde va trece axa de rotație dacă tija va fi lovită la unul din capete ?

○ 4.26. Un motor produce o mișcare uniformă a unui volant. După decuplarea motorului volantul se oprește în $t = 30$ s efectuînd 120 rotații. Momentul său de inerție este $J = 0{,}3$ kg m^2. Considerînd că accelerația unghiulară în timpul opririi este constantă, să se afle puterea dezvoltată de motor pentru rotația uniformă a volantului.

○ 4.27. Un volant cu masa de 0,5 t are diametrul de 1,5 m. Masa volantului se poate considera distribuită la margine. Ce lucru mecanic trebuie efectuat spre a accelera mișcarea volantului din repaus pînă la turația de 120 min^{-1}? Frecarea se neglijează.

△ 4.28. a) Un stîlp vertical cu înălțimea $h = 5$ m este tăiat cu ferăstrăul la bază și cade la pămînt. Să se afle viteza liniară a vîrfului său în momentul loviriі cu pămîntul. b) Care punct al stîlpului va avea, în orice moment al căderii, aceeași viteză ca în căderea liberă a unui corp de la aceeași înălțime?

△ 4.29. Pendulul Maxwell, reprezentat în figura 4.29, are masa $m = 1$ kg, momentul de inerție $J = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ kg·m^2 și raza axei de rotație $r = 5$ mm. Să se afle tensiunea în fiecare din cele două fire de legătură : a) în timpul mișcării descendente a pendulului ; b) în momentul în care pendulul se află la înălțimea minimă ; c) presupunînd că bara de care sînt prinse firele se ridică vertical, astfel încît pendulul rămîne la aceeași înălțime.

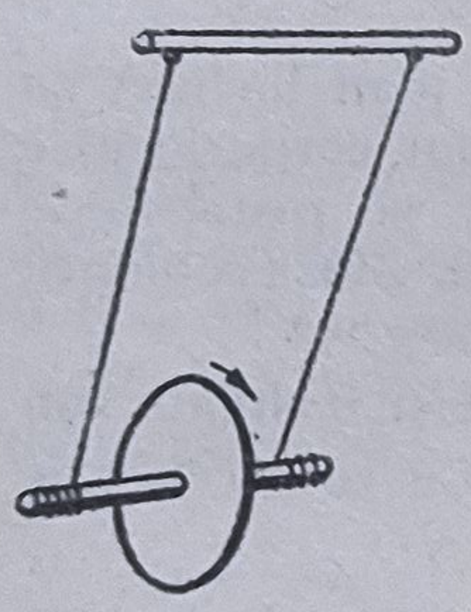


Fig. 4.29.

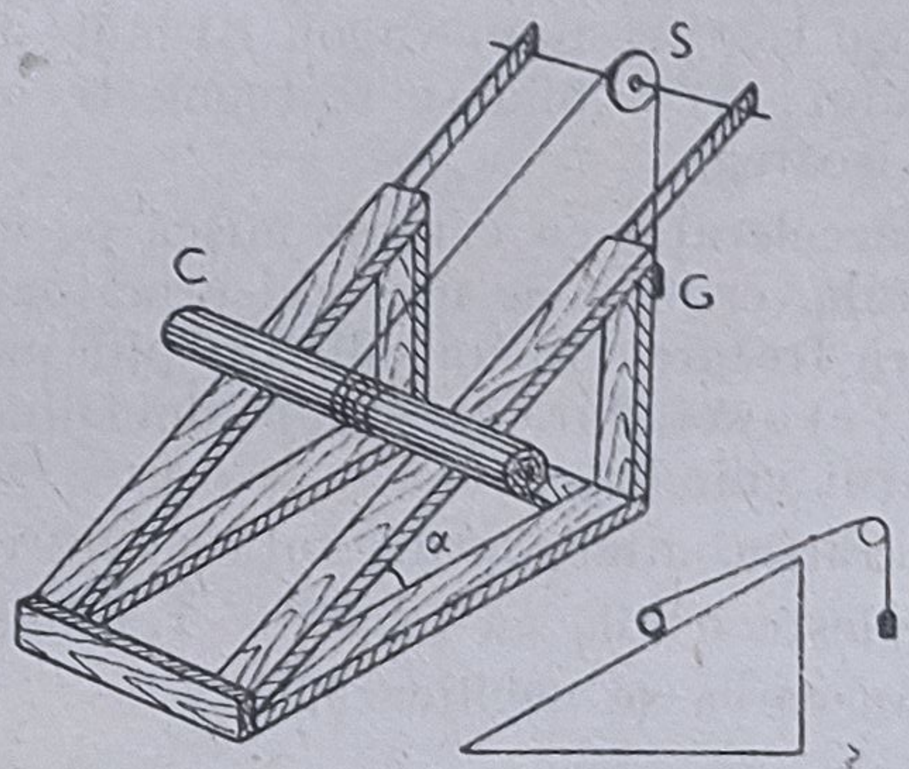


Fig. 4.30.

□ 4.30. Pe un cilindru C, plin, așezat pe două bare înclinate la 30° (vezi figura 4.30) este înfășurat un fir trecut peste un scripete de masă neglijabilă avînd la capete un corp de greutate G. Cunoscînd că, $m_G = m_C \cdot \sin \alpha$ cum se vor mișca cilindrul și corpul? Frecarea se neglijează.

△ 4.31. O bară de masă neglijabilă, de lungime l, are la capete 2 mici sfere de mase m_1 și m_2 ($m_1 > m_2$) și se poate roti în jurul unei axe, perpendiculară pe direcția barei, care trece prin mijlocul ei. Bara este adusă în poziție orizontală și apoi este lăsată liberă. Să se afle accelerația unghiulară și forța exercitată asupra axei de rotație: a) în momentul inițial al mișcării ; b) în momentul trecerii prin poziția de echilibru.

△ 4.32. O vergea de lemn cu masa $m = 1$ kg și lungimea $l = 40$ cm se poate roti în jurul unei axe perpendiculară pe direcția ei și care trece prin centrul ei. În extremitatea vergelei pătrunde un glonte cu masa $m_1 = 10$ g, cu viteza $v = 200\ m/s$ perpendiculară pe direcțiile vergelei și axei de rotație. a) Să se afle viteza unghiulară pe care o va căpăta vergeaua dacă glontele rămîne în vergea. b) Cum variază energia cinetică a sistemului?

○ 4.33. Pe un disc orizontal în rotație în jurul unei axe perpendiculară pe planul său care trece prin centrul discului, se află două greutăți identice așezate simetric față de centru și legate între ele cu un fir. La un moment dat firul se rupe și greutățile se mișcă cu frecare spre margine. Cum se va modifica : a) energia cinetică a discului și a greutăților? b) impulsul discului și al greutăților? c) momentul cinetic al discului și greutăților?

△ 4.34. Pe un scaun rotitor se află un om cu brațele întinse, ținînd în mîini două corpuri la distanța $l_1 = 150$ cm unul de celălalt. Scaunul se rotește cu frecvența $\nu_1 = 1\ s^{-1}$. Omul apropie corpurile la distanța $l_2 = 80$ cm. În acest caz frecvența devine $\nu_2 = 1{,}5\ s^{-1}$. Momentul de inerție al omului fiind presupus constant, ce lucru mecanic efectuează el dacă fiecare corp are $m = 2$ kg?

△ 4.35. Un disc orizontal aflat în mișcare de rotație cu viteza unghiulară ω_1 și cu momentul de inerție J_1 face la un moment dat corp comun cu un alt disc care se rotește în jurul aceleiași axe cu viteza unghiulară ω_2 avînd momentul de inerție J_2. a) Să se afle viteza unghiulară ω a sistemului. b) Cu cît este egală variația energiei cinetice? c) Cum se explică modificarea energiei cinetice?

□ 4.36. Să se explice din punctul de vedere al legii conservării momentului cinetic următoarele fenomene: a) Un disc A se rotește în jurul unei axe perpendiculară pe planul său, fixată pe masă.
El este pus în contact cu un disc identic a cărui axă este ținută în mînă. Prin aceasta viteza unghiulară a discului A se micșorează iar a discului B se mărește dar momentul cinetic total se micșorează. b) Două haltere se mișcă una spre alta ca în figura 4.36. Mișcarea fiind de translație momentul cinetic al fiecărei haltere este nul. În urma ciocnirii dintre două sfere halterele capătă o mișcare de rotație, iar momentele lor cinetice sînt îndreptate în același sens și deci suma lor este diferită de zero.

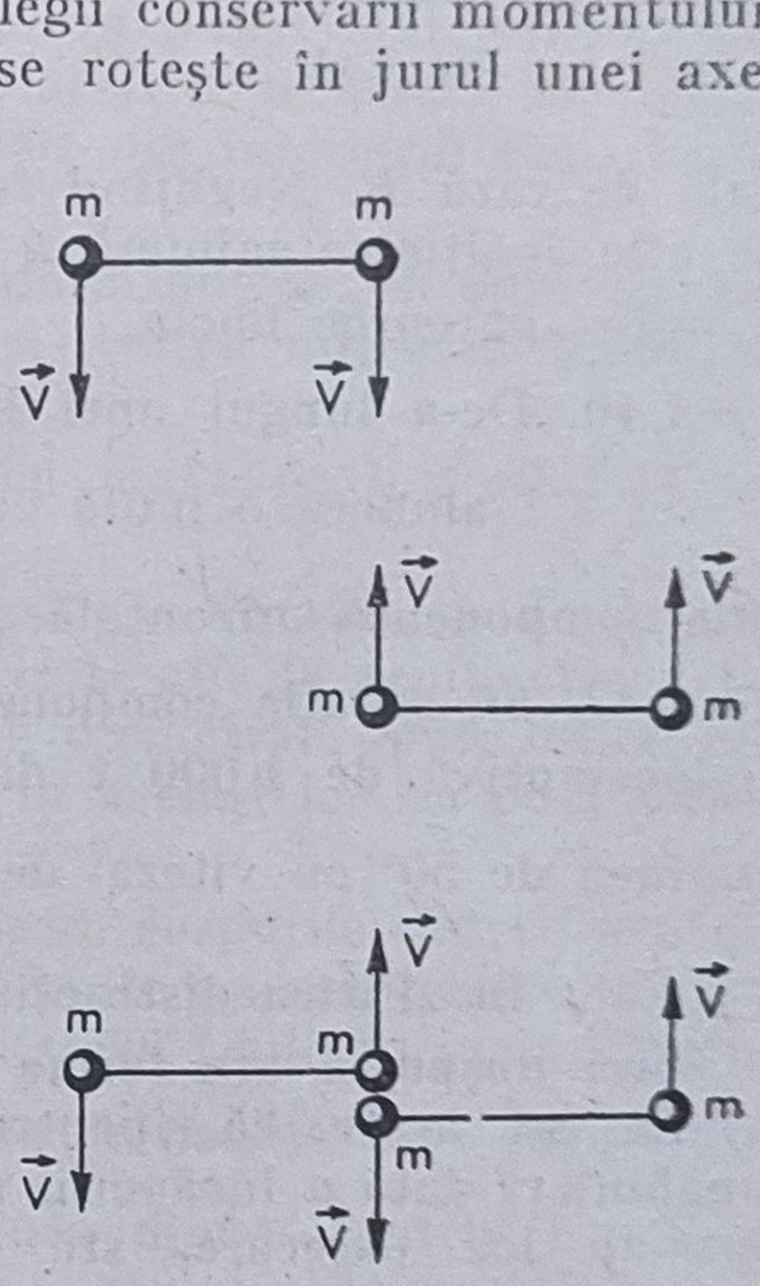


Fig. 4.36.

△ 4.37. O vergea subțire, omogenă, se rotește în jurul unei axe perpendiculară pe direcția ei care trece pe la mijloc. La un moment dat vergeaua se împarte în două părți egale care continuă să se rotească îndepărtîndu-se una de alta. Să se verifice în cazul dat conservarea momentului cinetic și conservarea energiei.

△ 4.38. Să se calculeze energia cinetică totală la rostogolirea, fără alunecare, cu viteza v, pe o suprafață plană: a) a unui cilindru cu masa m; b) a unei sfere cu masa m; c) a unui cărucior cu masa $2m$ (fiecare rotiță are masa $m/4$).

○ 4.39. Pentru ce valoare a razei bilei din problema 4.24 energia cinetică de translație este egală cu energia cinetică de rotație?

△ 4.40. O sferă cu raza de 3 cm se rostogolește pe dușumea și se oprește după $t = 2$ s parcurgînd un spațiu $s = 70$ cm. Să se afle coeficientul de frecare, de rostogolire.

□ 4.41. O bilă este așezată pe o placă orizontală care se mișcă cu o accelerație a. Care este condiția ca bila să aibă o mișcare de translație cu aceeași accelerație?

□ 4.42. Pe o placă înclinată se află o sferă. Pentru ce valoare a unghiului de înclinare a plăcii bila se va rostogoli fără alunecare dacă coeficientul de frecare statică este $\mu = 0{,}25$, coeficientul de frecare de rostogolire este $k' = 0{,}1$ cm, iar diametrul sferei este $d = 5$ cm?

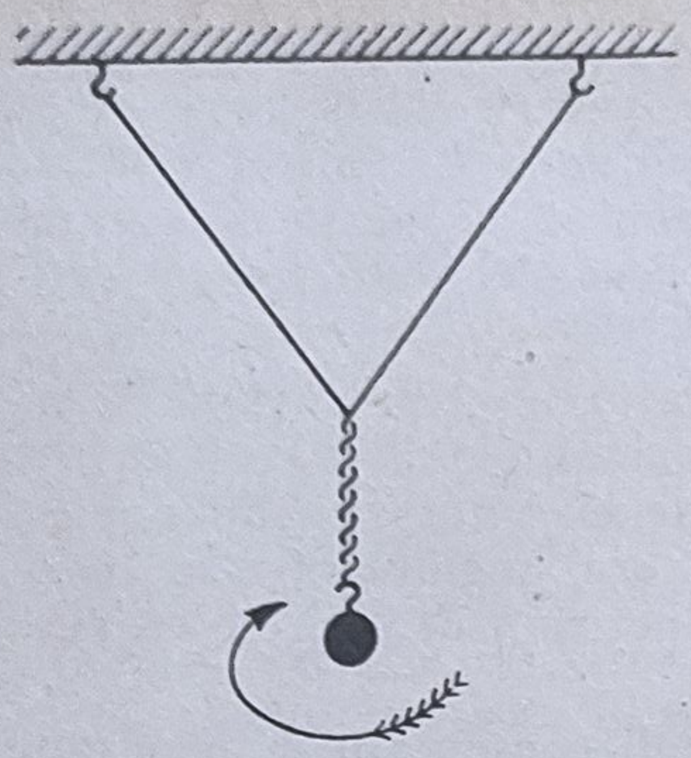


Fig. 4.43.

△ 4.43. O bilă cu raza de 1 cm este legată de 2 fire (vezi figura 4.43). Efectuînd 20 rotații ale bilei, firul răsucește, iar bila urcă cu 1,2 cm după care este lăsată liberă. Care este viteza centrului bilei și frecvența rotațiilor cînd ea ajunge în poziția inițială?

△ 4.44. Lagărul osiei unui vagon are diametrul de 27 cm, iar diametrul roții este 180 cm. Coeficientul de frecare în lagăr este 0,01, iar coeficientul frecării de rostogolire a roților pe șine este 0,05 cm. Să se afle lucrul mecanic necesar deplasării unui vagon cu masa de 50 t la distanța de 1 km.

□ 4.45. O bilă de rază r se rostogolește pe un plan înclinat și apoi parcurge o buclă verticală de rază R. Neglijînd frecarea la rostogolire și rezistența aerului să se afle înălțimea minimă a planului de la care trebuie lansată bila spre a putea parcurge bucla.

○ 4.46. De-a lungul unei bare care se rotește într-un plan orizontal cu $\nu = 1\ s^{-1}$ alunecă o mufă cu viteza $v = 50 \frac{cm}{s}$ cu masa $m = 100$ g. Să se afle componenta orizontală a forței care acționează asupra mufei.

○ 4.47. Să se afle componenta orizontală a forței cu care apasă pe șine o locomotivă de 1 000 t dacă ea se mișcă pe un drum orizontal la latitudinea de 50° cu viteza de $15 \frac{m}{s}$.

□ 4.48. În „Fizica distractivă“ de Perelman se vorbește despre o încăpere a cărei dușumea are forma unui paraboloid de rotație (vezi figura 4.48). a) Să se arate că, pentru o viteză unghiulară dată a încăperii, un om, aflat într-un loc oarecare, stă astfel încît dreapta care trece prin centrul său de masă și prin centrul poligonului de sprijin este perpendiculară pe suprafață în locul respectiv. b) Să se arate că, mișcîndu-se uniform prin această încăpere, omul nu efectuează lucru mecanic, în afara celui efectuat la deplasarea pe un drum orizontal. c) Prin îndepărtarea omului de axa de rotație se mărește atît energia potențială a sistemului (omul se ridică), precum și energia cinetică (se mărește viteza liniară a omului). Pe seama cui se modifică energia sistemului?

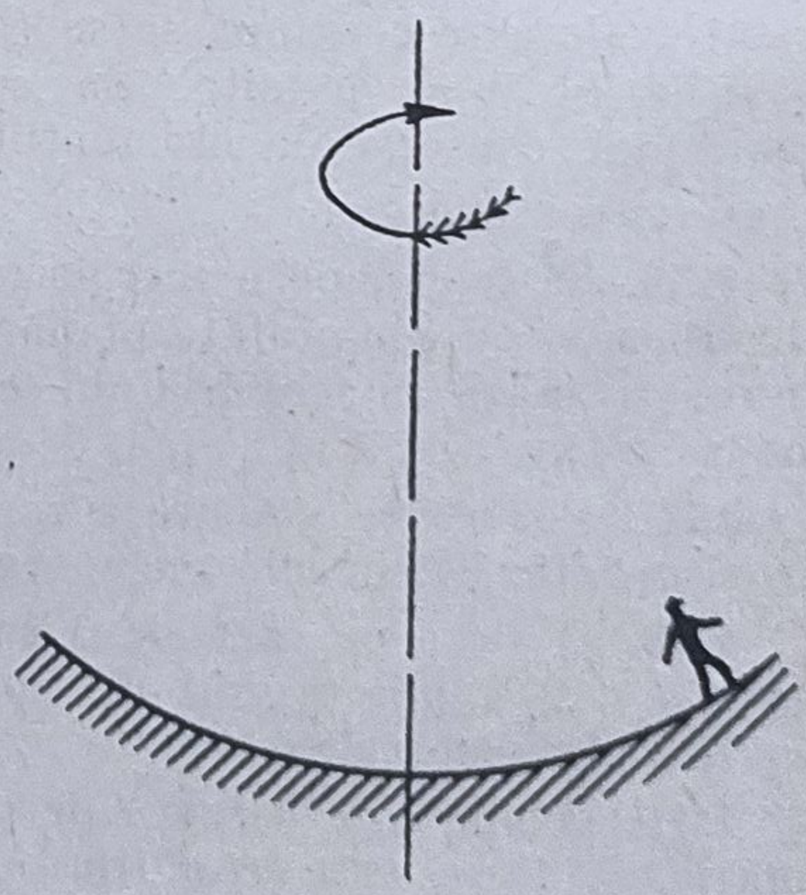


Fig. 4.48.

○ 4.49. Presupunem că un biciclist se deplasează pe o platformă orizontală, aflată în mișcare de rotație, cu o asemenea viteză încît, în raport cu pămîntul, el apare nemișcat. Este necesar să se încline în raport cu axa de rotație a platformei?

△ 4.50. Să se afle accelerația de încetinire a mișcării unui cerc care se rostogolește în virtutea inerției pe o suprafață orizontală cu frecare de rostogolire ($k = 0{,}01$).

△ 4.51. Un corp de greutate $P = 10^4$N este deplasat uniform cu ajutorul unor role cilindrice de greutate $\ll P$. Coeficientul de frecare al rolelor de dușumea este $k_1 = 0{,}01$, iar cel dintre role și greutate $k_2 = 0{,}02$. Să se afle forța necesară pentru deplasarea greutății.

§ 5. Legea atracției universale

I. Forța de atracție dintre două puncte materiale de mase m_1 și m_2, aflate la distanța r este $F = k\frac{m_1 m_2}{r^2}$ unde k este constanta atracției universale.

II. Un strat sferic sau o sferă omogenă atrage un punct material exterior cu aceeași forță ca în cazul cînd toată masa ar fi concentrată în centrul sferei. Stratul sferic nu atrage punctele materiale din interiorul său. (Forța rezultantă este nulă.)

III. Planetele se învîrtesc în jurul Soarelui conformîndu-se, cu aproximație, legilor lui Kepler. Aceleași legi sînt valabile și pentru mișcarea sateliților în jurul planetelor.

○ 5.1. Cu ce forță atrage Soarele un corp cu masa de 1 g aflat la suprafața Pămîntului?

△ 5.2. Un corp aflat pe Pămînt este atras și de Pămînt și de Soare. Într-un punct de pe Pămînt, pentru care Soarele se află la zenit, cele două forțe au sensuri contrare iar pentru punctul diametral opus, forțele au același sens. Trebuie să conchidem, de aici, că în același loc de pe Pămînt corpurile cad ziua mai încet decît noaptea?

△ 5.3. a) Este riguros exactă afirmația că, în vid, corpurile cad cu aceeași accelerație, independent de masele lor? b) Se admite uneori, pentru simplificare, următoarea relație pentru accelerația mișcării Lunii în jurul Pămîntului: $a = g\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$ unde g este accelerația gravitațională la suparafața Pămîntului, R_1 raza Pămîntului iar R_2 distanța dintre centrul Lunii și centrul Pămîntului. Să se afle eroarea relativă care apare prin folosirea acestei relații.

○ 5.4. Să se calculeze forța cu care se atrag două sfere de plumb, tangente, avînd fiecare diametrul de 1 m.

□ 5.5. Două sfere cu densitățile ρ_1 și ρ_2 se află într-un lichid cu densitatea ρ_0. În ce caz cele două sfere se atrag și în ce caz se resping?

□ 5.6. O mică sferă de masă m_1 se află la distanța a de capătul unei vergele omogene subțiri de masă m_2 și lungime l (vezi figura 5.6). a). Să se calculeze forța de atracție dintre sferă și vergea. b) Dacă $l = 2a$, să se calculeze cum se va schimba forța de atracție dacă vom înlocui vergeaua cu o sferă de masă m_2 situată în punctul unde se află centrul de masă al vergelei.

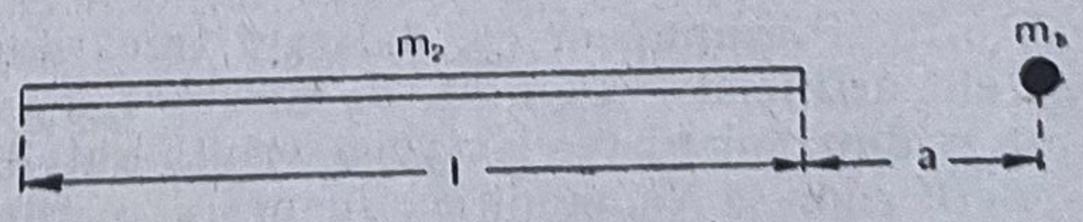


Fig. 5.6.

○ 5.7. Neglijind variația greutății determinată de mișcarea de rotație a Lunii și Pămîntului, să se calculeze cît ar cîntări pe suprafața Lunii un om care, pe Pămînt, cîntărește 720 *N*.

5.8. Să se găsească intensitatea cîmpului gravitațional al unei planete cu raza de 6 000 km în punctele aflate față de centrul planetei la distanțele 0 km, 1 000 km, 2 000 km, 3 000 km, 4 000 km, 5 000 km, 6 000 km, 8 000 km, 10 000 km, 12 000 km și să se traseze graficul corespunzător în două cazuri : a) densitatea planetei este aceeași în tot volumul său și egală cu $5\,\frac{g}{cm^3}$ iar în exteriorul planetei densitatea mediului este practic nulă ; b) densitatea planetei pînă la distanța de 4 350 km de centru este $10\,\frac{g}{cm^3}$ iar în rest $2\,\frac{g}{cm^3}$ (în exteriorul planetei, de asemenea, densitatea mediului este practic nulă).

5.9. În interiorul unei sfere omogene se află o cavitate sferică. Să se arate că, în interiorul cavității, cîmpul gravitațional este omogen. Cunoscînd densitatea sferei și distanța l dintre centrul sferei și centrul cavității, să se afle accelerația cu care se mișcă corpurile în cavitate.

5.10. a) Centrul de greutate al unui vapor este cu $h = 5$ m mai sus decît centrul de greutate al apei dezlocuite. Masa vaporului este 10 000 t. Care este diferența dintre masa vaporului și masa apei dezlocuite ? b) Cu ce forță rezultantă interacționează între ele două asemenea vapoare aflate la distanța de 1 km ?

○ 5.11. În ce punct dintre Pămînt și Lună, un corp oarecare va sta în echilibru ?

△ 5.12. La 4 octombrie 1957 a fost lansat în U.R.S.S. primul satelit artificial al Pămîntului. Satelitul avea o formă sferică cu diametrul de 58 cm și o masă de 83,6 kg și se mișca pe o traiectorie eliptică cu perioada $T = 1$ h 36,2 min, atingînd în anumite momente înălțimea de 900 km de la suprafața Pămîntului. Presupunînd că satelitul s-ar fi mișcat pe o traiectorie circulară, cu aceeași perioadă, ce înălțime, ce viteză și ce energie cinetică ar fi avut ?

○ 5.13. Două planete se învîrtesc în jurul Soarelui pe orbite aproximativ circulare, cu razele $R_1 = 150 \cdot 10^6$ km (Pămîntul) și $R_2 = 108 \cdot 10^6$ km (Venus). Să se găsească raportul vitezelor lor liniare v_1 și v_2.

□ 5.14. Cu ce viteză va cădea pe suprafața Lunii un meteorit a cărui viteză, la distanță mare de Lună, este mică ? Luna este lipsită de atmosferă.

□ 5.15. La ce înălțime față de Pămînt s-ar ridica un corp aruncat vertical în sus cu viteza de $5\,\frac{km}{s}$, dacă Pămîntul ar fi lipsit de atmosferă ?

□ 5.16. Presupunem că, datorită frecărilor, energia mecanică a unui sistem satelit artificial — Pămînt, se micșorează cu 2%. Considerînd că atît înainte cît și după pierderea energiei orbita satelitului rămîne circulară, să se calculeze cum se va modifica în urma pierderii de energie : a) raza orbitei ; b) viteza satelitului ; c) perioada.

□ 5.17. Cu cît este egală suma energiilor cinetice și potențiale ale unei planete de masă m care se învîrtește în jurul Soarelui pe o elipsă cu semiaxa mare egală cu a ? Se vor considera pozițiile planetei în punctele de curbură maximă și minimă.

Indicație: Razele de curbură minimă și maximă ale unei elipse sînt respectiv $\frac{b^2}{a}$ și $\frac{a^2}{b}$ unde a și b sînt semiaxele elipsei.

□ 5.18. În cît timp ar cădea pe Soare un corp aflat la o distanță egală cu raza orbitei Pămîntului?

□ 5.19. Un meteorit, avînd la distanță mare de Pămînt viteza relativă $v\frac{\text{km}}{s}$ cade pe Pămînt, dacă distanța ρ de la asimptota orbitei la centrul Pămîntului este mai mică decît o valoare critică $\rho < \rho_c$. Să se găsească secțiunea efectivă de captare a meteoritului de către Pămînt $\sigma = \pi\rho_c^2$.

□ 5.20. Să se arate că problema celor trei corpuri care gravitează fiecare în cîmpul celorlalte, conform legii lui Newton, avînd masele m_1, m_2 și m_3, comparabile ca mărime, are o soluție particulară pentru care corpurile se învîrtesc în jurul centrului comun de greutate, formînd un triunghi echilateral (soluția lui Lagrange). Să se găsească frecvența rotațiilor.

§ 6. Statica corpului solid

I. Condițiile de echilibru ale unui corp solid: $\sum F_x = 0$; $\sum F_y = 0$; $\sum F_z = 0$; $\sum \mathfrak{M}_x = 0$; $\sum \mathfrak{M}_y = 0$; $\sum \mathfrak{M}_z = 0$;
unde, F_x, F_y, F_z, $\mathfrak{M}_x$, $\mathfrak{M}_y$, $\mathfrak{M}_z$ sînt proiecțiile, într-un sistem rectangular de coordonate ale vectorilor forță și momente de rotație, care acționează asupra corpului. Aceleași condiții sînt valabile și pentru mișcarea rectilinie și uniformă a unui corp iar în cazul mișcării variate, în afara forțelor care acționează asupra corpului se mai adaugă și forța de inerție.

II. Forța de frecare statică poate avea, în funcție de condițiile problemei, pentru o forță normală de apăsare dată, valori diferite, de la zero la o valoare maximă și poate fi determinată în funcție de apăsarea normală și natura suprafețelor care se freacă. Coeficientul de frecare statică μ se numește raportul dintre forța maximă de frecare statică și forța normală de apăsare. Coeficientul de frecare la alunecare este totdeauna mai mic decît coeficientul de frecare statică.

○ 6.1. Pe o suprafață plană care formează cu orizontala unghiul de 20° se află o scîndură în care, la partea superioară, este bătut un cui care trece prin centrul său de greutate. Coeficientul de frecare statică dintre scîndură și suprafață este 0,4. Masa scîndurii este 0,5 kg. Să se afle forța maximă cu care se poate acționa asupra cuiului astfel încît scîndura să rămînă nemișcată, în următoarele cazuri: a) forța acționează paralel cu suprafața, în sus; b) forța acționează paralel cu suprafața, în jos; c) forța acționează în direcție orizontală.

○ 6.2. Între doi pereți aflați la distanța de 1,5 m este întins un cablu cu lungimea de 1,7 m. De mijlocul cablului este legată o greutate de 200 N (vezi figura 6.2). Să se afle tensiunile în cablu.

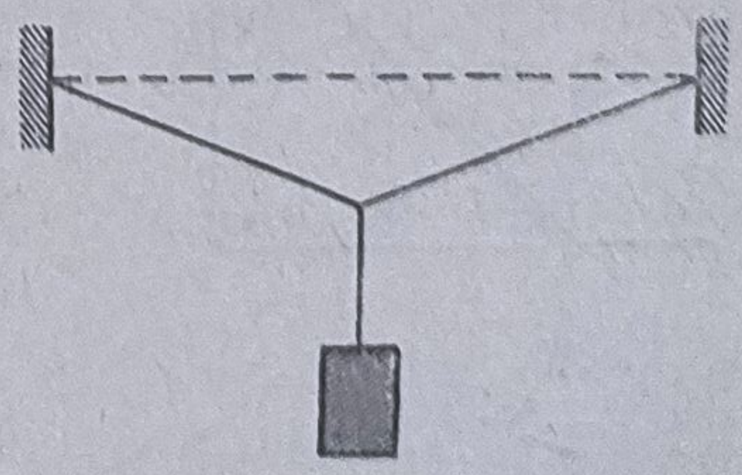


Fig. 6.2.

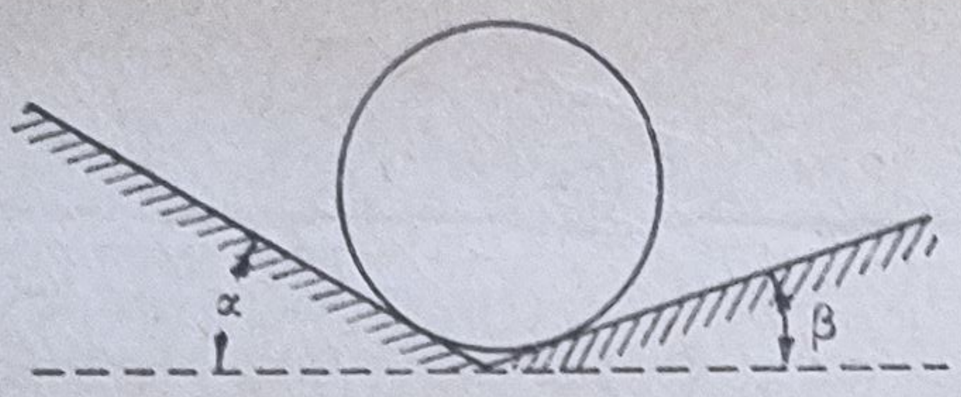


Fig. 6.3.

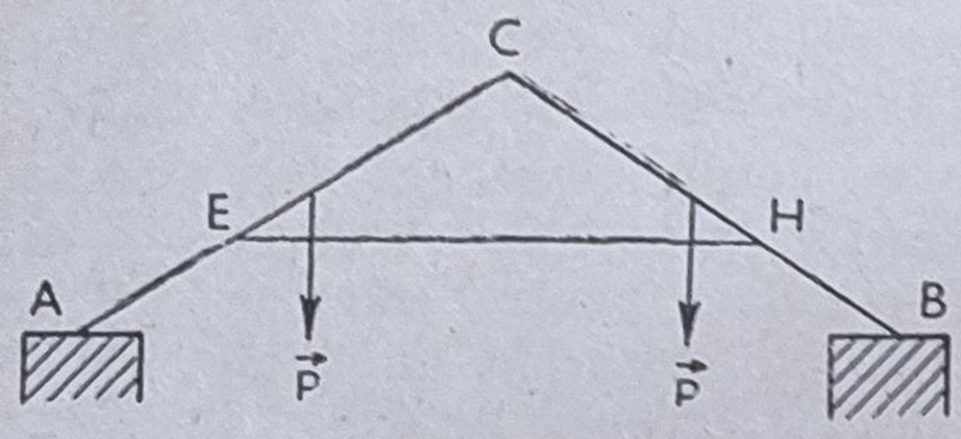


Fig. 6.5.

○ 6.3. O sferă de 5 kg se sprijină pe două suprafețe netede ($\mu = 0$) formînd cu orizontala unghiurile $\alpha = 35°$ și $\beta = 20°$ (vezi figura 6.3). Să se afle forțele cu care sfera apasă pe cele două suprafețe.

△ 6.4. Presupunem că în problema precedentă suprafețele nu ar fi netede ($\mu \neq 0$). Pot fi aflate în acest caz forțele de apăsare?

△ 6.5. Asupra fiecăruia din căprioriii AC și BC din figura 6.5 acționează, la mijloc, propria greutate și greutatea acoperișului însumînd $8 \cdot 10^3$N. Pentru a nu se desface, căpriorii sînt întăriți de grinda EH a cărei lungime este de 1,5 ori mai mică decît AB și de 1,2 ori mai mare decît AC. Care este forța de întindere a grinzii?

○ 6.6. Trei muncitori transportă o placă metalică de forma unui triunghi oarecare, ținînd-o de cele trei vîrfuri. Să se arate că, greutatea plăcii se repartizează egal celor trei muncitori.

○ 6.7. Pe o scîndură cu greutatea de 800 N, așezată pe doi suporți, stă un om de 60 kg. Cunoscînd dimensiunile din figura 6.7 să se afle forțele care acționează asupra celor doi suporți.

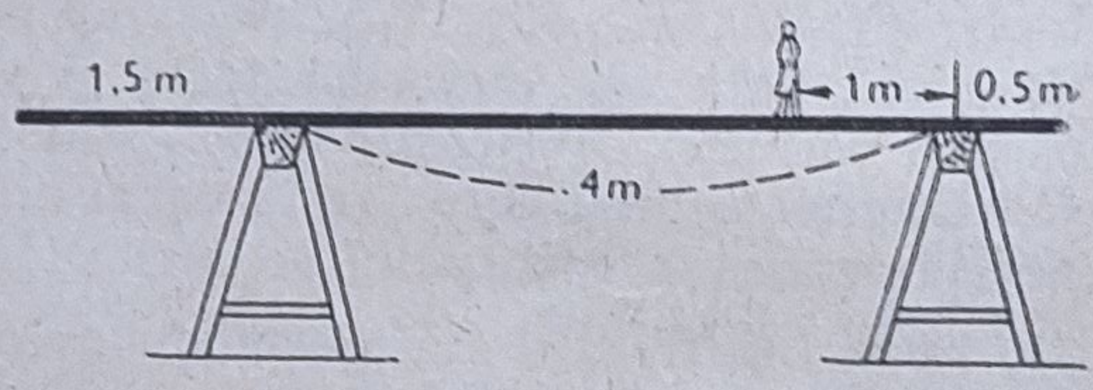


Fig. 6.7.

△ 6.8. Pentru determinarea poziției centrului de greutate al unui automobil s-au făcut trei cîntăriri: 1) întreg automobilul fiind așezat pe platforma cîntarului s-a găsit valoarea $G = 2{,}71 \cdot 10^4$ N; 2) Numai roțile din spate fiind pe cîntar, iar cele din față în afara platformei, la același nivel cu ea, s-a găsit valoarea $G_1 = 1{,}41 \cdot 10^4$ N; 3) Roțile din spate fiind pe cîntar, cele din față au fost ridicate cu 60 cm și s-a găsit valoarea $G_2 = 1{,}473 \cdot 10^4$N. Să se afle înălțimea centrului de greutate al automobilului. Distanța dintre roți este 3,3 m iar raza fiecărei roți este 0,42 m.

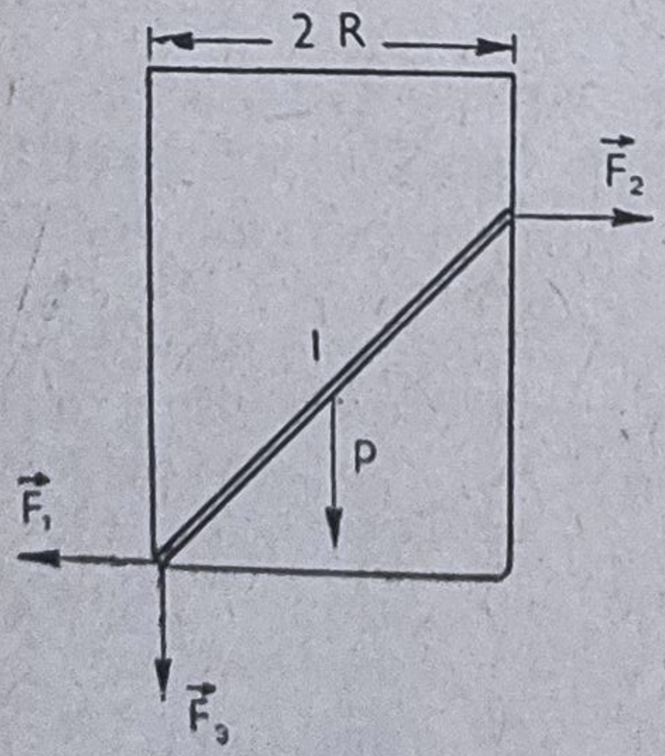


Fig. 6.9.

△ 6.9. Într-un pahar cilindric cu raza bazei de 7 cm se află un bețișor de 30 g lung de 15 cm (vezi figura). Cu ce forțe acționează bețișorul asupra fundului și peretelui paharului? Frecarea se neglijează.

△ 6.10. O poartă este făcută din bare de fier de aceeași secțiune așa cum se arată în figura 6.10. Prin construcție suportul B poate fi solicitat

numai în direcție orizontală. Să se calculeze forțele care acționează asupra suporturilor A și B. Greutatea barei AB este de 500 N.

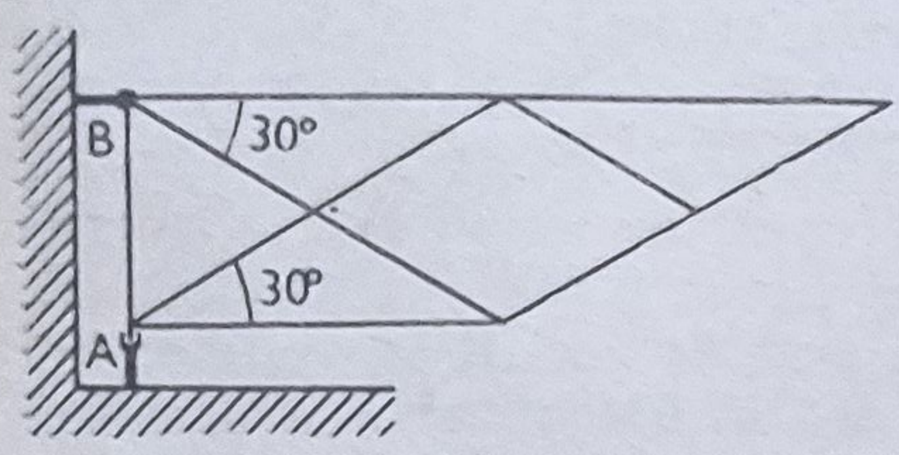


Fig. 6.10.

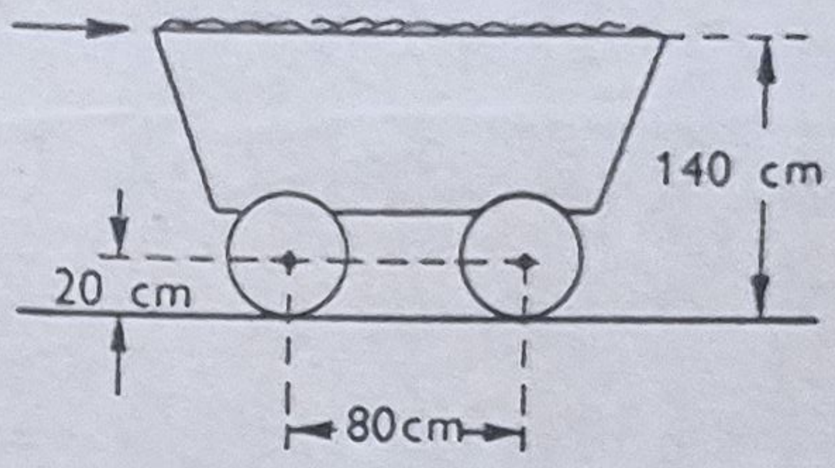


Fig. 6.11.

□ 6.11. Un cărucior încărcat (vezi figura 6.11) se află pe două șine orizontale. Osiile căruciorului se află la distanța de 80 cm și înălțimea de 20 cm deasupra șinelor. În stare de repaus forța de apăsare pe osia din stînga este 10^3 N, iar pe cea din dreapta $0{,}9 \cdot 10^3$ N. a) Acționînd asupra căruciorului cu o forță orizontală de 40 N, la înălțimea de 140 cm, el se mișcă uniform în sensul forței. Care sînt forțele de apăsare asupra osiilor? b) Care sînt forțele de apăsare pe osii dacă sub acțiunea aceleiași forțe cărcuciorul se mișcă cu accelerația de 0,1 $\frac{m}{s}$ știind că centrul de greutate se găsește la înălțimea de 61 cm deasupra șinelor?

△ 6.12. Un model de arbore cotit, făcut ca în figura 6.12 din bare de fier cu diametrul de 1 cm, se rotește în lagărele A și B cu frecvența 5 s^{-1}. Să se calculeze forțele care acționează în lagăre: a) în momentele cînd arborele cotit se află în plan vertical; b) în momentele cînd arborele cotit se află în plan orizontal.

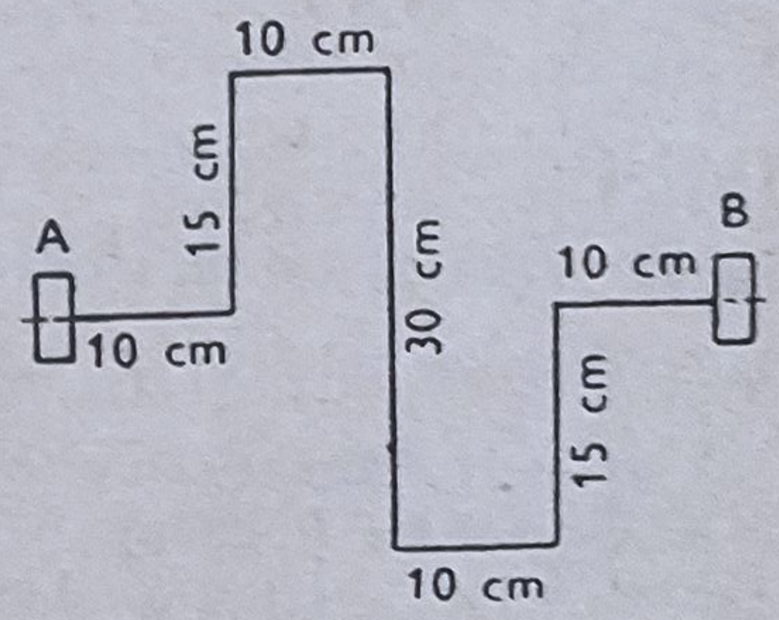


Fig. 6.12.

△ 6.13. a) Pe un perete foarte neted ($\mu_1 = 0$) se sprijină o scară. Coeficientul de frecare statică de pămînt este $\mu_2 = 0{,}5$. Centrul de greutate al scării se află la jumătatea ei. Să se găsească cel mai mic unghi φ pe care îl poate face scara cu orizontala fără să cadă. b) Presupunem că scara a fost așezată sub unghiul φ calculat mai sus. Va cădea scara dacă un om se așază pe prima treaptă a ei? Dar dacă se așază pe ultima treapă?

□ 6.14. O vergea subțire cu lungimea $l = 100$ cm, făcută din lemn cu densitatea $\rho = 0{,}8 \frac{g}{cm^3}$, este suspendată de unul din capete iar celălalt capăt este scufundat în apă. Să se afle unghiul făcut de direcția vergelei cu verticala, cînd capătul superior, care iese din apă, se află față de nivelul apei, la înălțimea h egală cu a) 30 cm; b) 70 cm.

△ 6.15. Ce lucru mecanic trebuie efectuat spre a întoarce un cub masiv de fier de 200 kg pe fața opusă?

□ 6.16. Un vas de formă cubică, cu pereții subțiri (fără capac) este plin pe jumătate cu apă. Ce lucru mecanic trebuie cheltuit spre a goli vasul prin răsturnarea lui în jurul unei muchii? Muchia cubului are 20 cm.

△ 6.17. O ladă de formă cubică este deplasată la o distanță l o dată tîrîș și a doua oară prin răsturnare. Coeficientul de frecare la alunecare este μ. Frecarea la rostogolire se neglijează. Pentru ce valoarea a lui μ lucrul mecanic cheltuit este același în ambele cazuri?

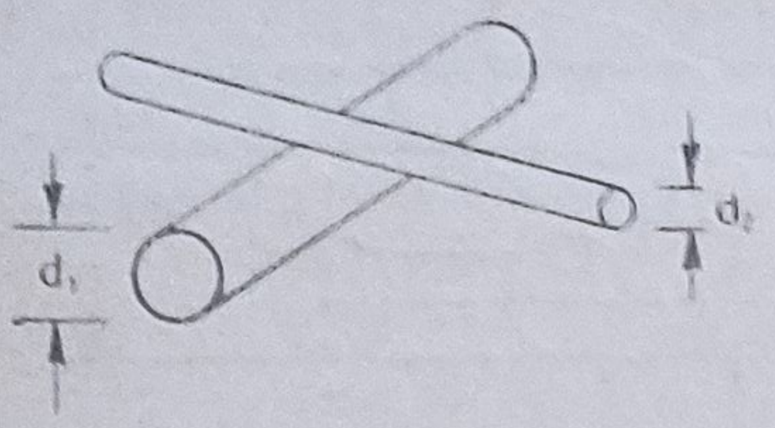


Fig. 6.18.

□ 6.18. Avînd două creioane rotunde, de diametre diferite ($d_1 > d_2$) cel de-al doilea este așezat peste primul în echilibru în poziție orizontală (vezi figura 6.18). a) Primul creion nu poate fi așezat în același fel peste cel de-al doilea. De ce? b) Presupunem că al doilea creion stă în echilibru în poziție orizontală. Care este unghiul maxim cu care poate fi deviat creionul în plan vertical astfel încît el să revină la poziția orizontală dacă este lăsat liber? Coeficientul de frecare statică este $\mu = 0{,}5$, iar raportul diametrelor creioanelor este $\frac{d_1}{d_2} = 1{,}05$.

§ 7. Rezistența materialelor. Elasticitatea

I. Forța de rupere: $F = p_m S$, unde p_m este efortul unitar de rupere iar S aria secțiunii materialului.

II. Alungirea sau comprimarea relativă: $\frac{\Delta l}{l} = \frac{p}{E}$ unde p este efortul unitar iar E este modulul de elasticitate (modulul lui Young).

III. Variația relativă a volumului la întindere: $\frac{\Delta V}{V} = (1 - 2\mu)\frac{P}{E}$ unde μ este raportul dintre comprimarea relativă a materialului și alungirea relativă (coeficientul lui Poisson).

IV. Variația relativă a volumului la comprimarea omnidirecțională:

$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{P}{k}$ unde k este modulul de elasticitate cubic.

V. Energia potențială a unui corp la alungirea sau comprimarea elastică:

$$E_p = \frac{F \cdot \Delta l}{2}$$

VI. Densitatea de energie: a) la alungire sau comprimare: $W = \frac{p^2}{2E}$, b) la comprimarea omnidirecțională: $w = \frac{p^2}{2k}$.

VII. Unghiul de răsucire al unui cilindru (vezi figura 7.VII) $\alpha = \frac{2l}{\pi r^4 \cdot G}\mathfrak{M}$ unde $\mathfrak{M}$ este momentul de torsiune, l și r lungimea, respectiv raza cilindrului, G modulul de forfecare.

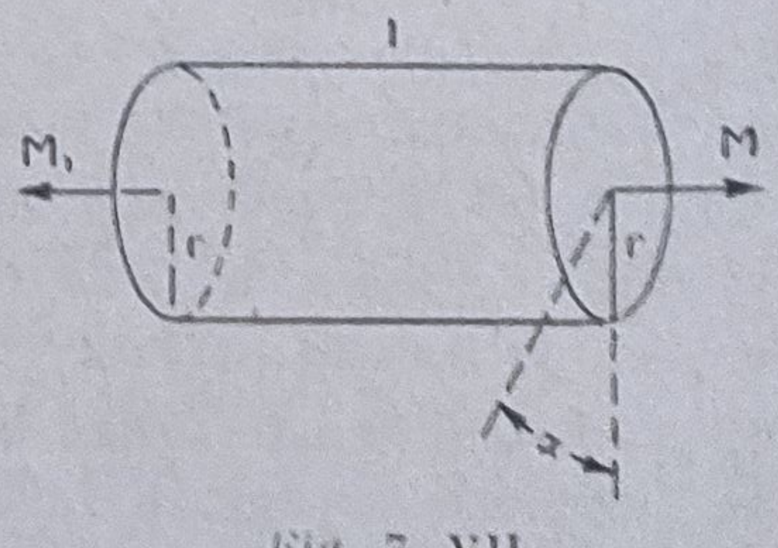


Fig. 7. VII.

○ 7.1. O sîrmă de plumb este suspendată de unul din capete. Care este lungimea maximă pentru care sîrma nu se rupe sub acțiunea propriei greutăți?

△ 7.2. La ce presiune interioară poate rezista: a) un tub de sticlă avînd diametrul exterior $d_1 = 8$ mm și diametrul interior $d_2 = 7$ mm; b) un balon sferic de sticlă avînd diametrul exterior $d_1 = 182$ mm și diametrul interior $d_2 = 180$ mm? În ambele cazuri presiunea exterioară este $0{,}98 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$.

△ 7.3. Să se arate că un cazan compus dintr-o parte cilindrică și două capace semisferice poate avea capacele de două ori mai subțiri decît peretele cilindric (vezi figura 7.3).

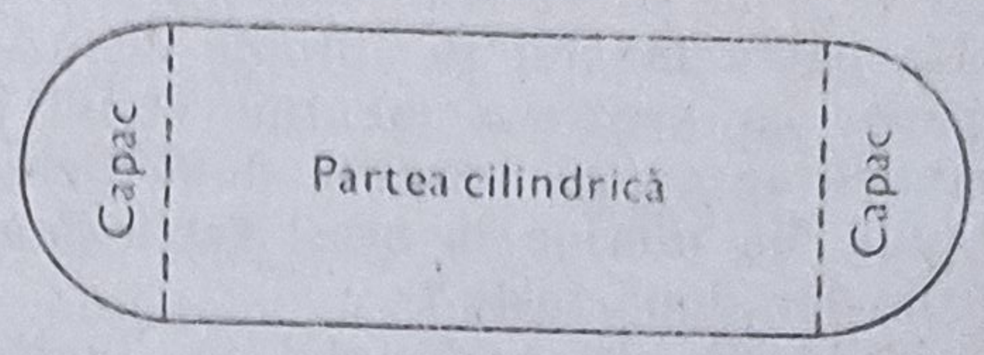


Fig. 7.3.

△ 7.4. O vergea de fier, orizontală, cu lungimea $l = 150$ cm se rotește în jurul unei axe verticale care trece prin mijlocul său. Pînă la ce frecvență de rotație rezistă vergeaua?

○ 7.5. O sîrmă de oțel cu diametrul de 1 mm are lungimea de 5 m, cînd se leagă de ea un corp de 196 N. Cu cît se va alungi sîrma dacă corpul suspendat se mai mărește cu 98 N?

△ 7.6. Între doi stîlpi este întinsă o sîrmă de oțel cu diametrul de 1 mm și lungimea de 2 m. Cu cît se va deplasa mijlocul sîrmei dacă se leagă în acest punct o greutate de 2,94 N?

△ 7.7 O bară de cupru cu lungimea de 2 m și diametrul de 3 cm este ridicată din poziție orizontală în poziție verticală și sprijinită de pămînt. Se poate măsura variația diametrului la baza barei de cupru dacă putem măsura pînă la precizia de 0,001 mm?

△ 7.8. O conductă lungă de fier are diametrul interior $d = 30$ cm și grosimea pereților $b = 0{,}5$ cm. Cu cît se va mări aria secțiunii interioare a conductei dacă diferența de presiune din exterior și interior crește de la 0 la $4{,}2 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$? Se va neglija variația grosimii pereților.

○ 7.9. La ce adîncime densitatea apei este cu 1% mai mare decît în apropierea suprafeței libere?

△ 7.10. Conducta din problema 7—8 are lungimea de 200 m și este așezată orizontal. Capetele conductei sînt închise. Conducta este plină cu apă iar diferența dintre presiunea apei și presiunea exterioară este $4{,}9 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$. Ce volum de apă va curge prin conductă dacă în partea superioară a ei apare o fisură?

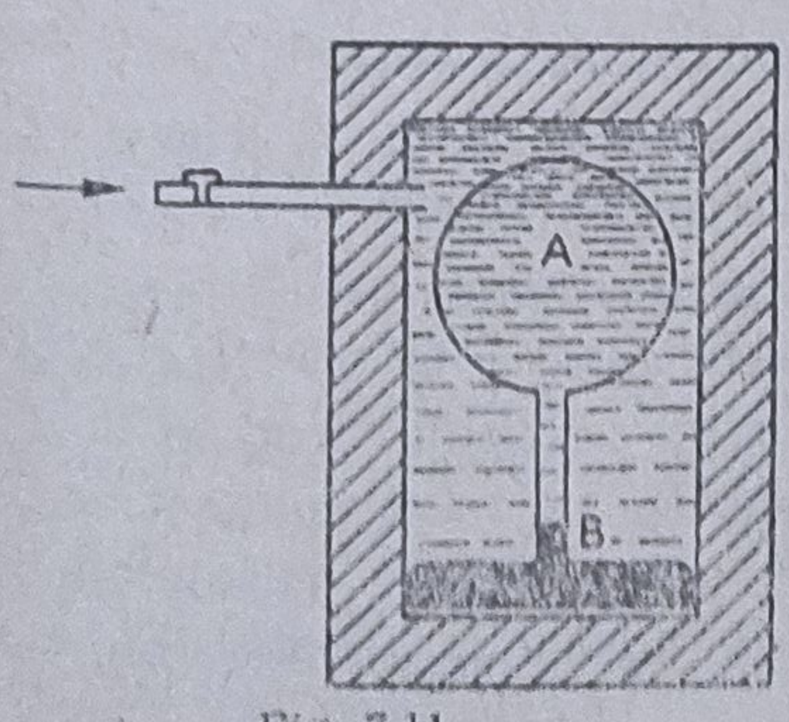


Fig. 7.11.

△ 7.11. În figură este reprezentat piezometrul, aparat care servește pentru măsurarea modulului de comprimare al lichidelor. Prin mărirea presiunii lichidului care înconjoară vasul de sticlă A, mercurul în tubul B se ridică. Cum s-ar putea măsura modulul de elasticitate cubic al lichidului aflat în interiorul vasului A? Care este eroarea relativă care se face dacă nu se

ia în considerație comprimarea sticlei iar modulul de elasticitate cubic al lichidului studiat este apropiat de $3 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2}$?

△ 7.12. Un volant de oțel se rotește cu turația $n = 30$ min^{-1}. Diametrul mediu al volantului (masa volantului se consideră distribuită la margine) este $d = 1{,}5$ m. Să se calculeze alungirea diametrului volantului.

△ 7.13. Asupra a două muchii opuse ale unui cub omogen acționează două forțe egale și de sens contrar. Dacă aceste muchii se îndepărtează cu Δl, alte patru muchii se apropie cu $\mu \Delta l$. Presupunem că forțele deformatoare dispar iar pentru a menține cubul în poziția anterioară a celorlalte patru muchii se aplică acestora două perechi de forțe în sensul comprimării cubului. Va rămîne în acest fel forma cubului aceeași ca în cazul acțiunii primelor două forțe ?

○ 7.14. O sîrmă de oțel cu lungimea $l = 4$ m și diametrul $d = 2$ mm este întinsă sub acțiunea unei forțe $F = 9{,}8 \cdot 10^2$ N. Cu cît se va modifica : a) volumul său ? b) aria sa laterală ?

○ 7.15. Să se calculeze energia de deformare a sîrmei de oțel din problema 7.5 sub acțiunea forței de 294 N.

○ 7.16. Să se calculeze densitatea de energie a apei comprimate la adîncimea de 1,5 km.

○ 7.17. Să se calculeze densitatea de energie în sîrma din problema 7.6.

△ 7.18. Un vagon de marfă de 31 t mișcîndu-se pe o linie moartă cu viteza de 40 $\frac{cm}{s}$ se ciocnește cu tampoanele de un parapet de oprire. Tampoanele se comprimă, iar parapetul practic nu se deformează. Fiecare tampon se comprimă sub acțiunea unei forțe de 10^4 N cu 7 mm. Ciocnirea vagonului se poate considera perfect elastică. Cu cît se vor comprima tampoanele în cazul dat ?

△ 7.19. Prin baterea parilor de lemn în pămînt se nasc tensiuni mari atunci cînd vîrful parului ajunge la o adîncime cu teren pietros. Să se afle efortul unitar maxim care se naște în următoarele condiții : masa ciocanului este 180 kg, diametrul parului este 26 cm, lungimea lui $l = 6$ m. Ciocanul cade de la înălțimea de 45 cm. (Se neglijează scurtarea parului în timpul ciocnirii.)

○ 7.20. De o sîrmă suspendată vertical se leagă un corp de masă m iar sîrma capătă o alungire x. În acest fel energia potențială a masei m se micșorează cu cantitatea mgx iar firul capătă energia potențială $\frac{mgx}{2}$. Ce s-a întîmplat cu cealaltă jumătate a energiei potențiale a corpului ?

○ 7.21. Cînd o coardă de oțel întinsă se răcește, efortul unitar și deci energia se măresc. Pe seama cui se produce creșterea energiei ?

△ 7.22. O mică greutate este legată de un fir de cauciuc care în stare nedeformată are lungimea $l = 80$ cm. Firul este deviat la 90° rămînînd neîntins și este lăsat liber. Cînd trece prin poziția verticală firul are lungimea $l_1 = 100$ cm. Să se găsească viteza greutății în acest moment. Indicație : Diferența dintre l_1 și l nu este mare. De aceea, pentru calculul forțelor care acționează asupra greutății se poate considera că mișcarea se face pe un cerc de rază l_1.

○ 7.23. Un ax de oțel lung de 150 cm și cu diametrul de 2 cm transmite o putere de 4,5 kW, rotindu-se cu freevența de 20 s^{-1}. Care este unghiul de răsucire al axului?

△ 7.24. În figură este reprezentată dependența forței elastice de deformație, în cazul deformărilor periodice ale unui material care prezintă deformații remanente. Conform formulei 7.V energia potențială a corpului deformat în stările corespunzătoare punctelor ABC și D este egală cu zero, iar în stările corespunzătoare punctelor KL este negativă. Cum se pot explica aceste rezultate?

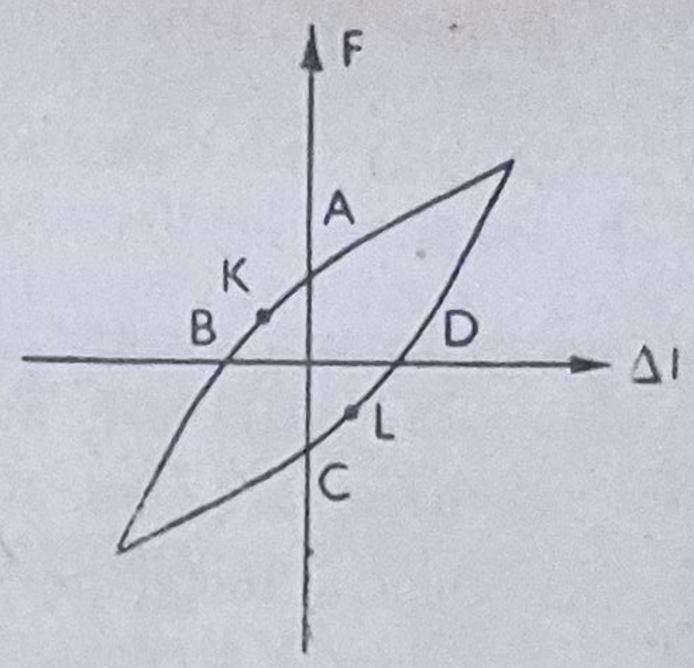


Fig. 7.24.

§ 8. Dinamica mișcării oscilatorii. Pendule

I. Pulsația și perioada oscilațiilor armonice de translație se calculează prin formulele $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ în care k este constanta elastică.

II. Perioada oscilațiilor armonice de rotație: $I = 2\pi\sqrt{\frac{J}{D}}$ unde J este momentul de inerție al oscilatorului în raport cu axa de oscilație, iar $D = \frac{\mathfrak{M}}{\alpha}$ unde $\mathfrak{M}$ este momentul forțelor care aduc corpul la poziția de echilibru, iar α este unghiul de rotație.

III. Pentru amplitudini unghiulare mici $D = mgb$, b fiind distanța de la centrul de greutate al pendulului la axa de oscilație. Formula perioadei devine $T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgh}}$. În cazul pendulului matematic pentru amplitudini unghiulare mici $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ unde l este lungimea pendulului. În toate problemele de la acest paragraf vom presupune că amplitudinile unghiulare sînt mici.

IV. Suma energiilor cinetică și potențială ale unui punct material care efectuează o mișcare oscilatorie armonică este constantă și egală cu $E = \frac{mA^2\omega^2}{2} = k\frac{A^2}{2}$ unde A este amplitudinea oscilației.

V. În cazul în care asupra corpului acționează și forța de rezistență a mediului, proporțională cu viteza ($F_r = -rv$), micșorarea oscilatorului nu este o oscilație armonică. Elongația se calculează în acest caz prin formula $y = Ae^{-\delta t}\sin(\omega t + \varphi)$ unde A este o constantă pentru mișcarea dată care depinde de elongația și viteza din momentul inițial, $\delta = \frac{r}{2m}$ este coeficientul de amortizare, φ este faza inițială, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \delta^2}$. Oscilațiile sînt

posibile numai în ipoteza $k > m\delta^2$. În cazul în care, $k \leqslant m\delta^2$ corpul scos din poziția de echilibru revine la această poziție fără a efectua oscilații.

VI. Decrementul logaritmic de amortizare a oscilațiilor este $\theta = \delta T$.

VII. Amplitudinea și viteza maximă a oscilațiilor forțate sînt: $A = \dfrac{F_m}{\sqrt{r^2\omega^2 + m^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2}}$; $v_m = \dfrac{F_m}{\sqrt{r^2 + m^2\left(\dfrac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega}\right)^2}}$ unde F_m este valoarea maximă a forței periodice de pulsație ω, $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ este pulsația oscilațiilor proprii ale oscilatorului (în absența amortizării). La modificarea frecvenței forței exterioare amplitudinea vitezei devine maximă pentru $\omega = \omega_0$. Maximul amplitudinii mișcării are loc pentru $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$.

VIII. Puterea medie consumată într-o perioadă pentru întreținerea oscilațiilor forțate: $P = \delta \cdot m \cdot v_m^2$.

○ 8.1. O lamă de oțel așezată orizontal este prinsă la unul din capete, iar la celălalt capăt se fixează un corp de masă mult mai mare decît masa lamei. Prin adăugarea acestui corp capătul liber coboară cu 4 cm. a) Cu ce frecvență va oscila lama dacă sistemul va primi la capătul liber un impuls vertical? b) Cu ce accelerație se mișcă corpul în momentele cînd lama capătă poziție orizontală?

○ 8.2. Considerînd mișcarea pistonului în cilindrul unui motor cu ardere internă ca o mișcare oscilatorie armonică (vezi problema 1.32), să se afle forța cu care acționează pistonul asupra arborelui cotit atunci cînd el se găsește la un punct mort. Masa pistonului este de 1,2 kg, turația arborelui cotit este de 200 min^{-1}, cursa pistonului este de 12 cm. Presiunea gazelor în cilindru se ia egală cu presiunea atmosferică.

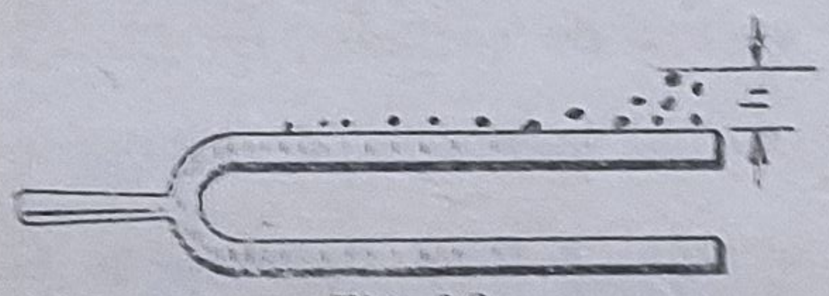


Fig. 8.3.

□ 8.3. Pe ramura superioară a unui diapazon fixat orizontal (vezi figura 8.3) se presară nisip fin. Diapazonul este pus în oscilație în frecvența de 500 Hz. a) Cît este amplitudinea oscilațiilor diapazonului în acele puncte în care granulele de nisip nu sar? b) Cît este amplitudinea oscilațiilor în punctele în care granulele de nisip sar la înălțimea $h = 3$ mm (în raport cu poziția de echilibru a diapazonului), considerînd ciocnirea granulelor cu diapazonul ca neelastică?

△ 8.4. La echilibrul sistemului din figură resortul R se întinde cu $\Delta l = 7$ cm. Masele bilelor și scripeților sînt respectiv $m_1 = 300$ g, $m_2 = 100$ g, $m_3 = 100$ g. Masa firului precum și frecările se pot neglija. Să se afle perioada oscilațiilor acestui sistem dacă bila de masă m_1 este trasă în jos și apoi este lăsată liberă.

Fig. 8.4.

△ 8.5. Capătul superior al unei sîrme de oțel cu diametrul de 0,5 mm și lungimea de 80 cm este fixat. De capătul inferior este prinsă o sferă cu masa de 2 kg și diametrul de 10 cm. Sfera este rotită cu un unghi mic și lăsată liberă. Să se afle perioada oscilațiilor.

○ 8.6. O mică sferă este legată de un fir lung. Prima dată ea este ridicată pe verticală pînă în punctul de suspensie și lăsată liberă iar a doua oară este deviată sub un unghi mic (pendul) și este lăsată liberă. În care din cele două cazuri sfera revine mai repede la poziția inițială?

△ 8.7. Să se afle perioada oscilațiilor corpului de lemn suspendat de 8 fire de aceeași lungime $l = 80$ cm (vezi figura 3.44). Unghiurile dintre firele învecinate sînt egale cu $\varphi = 49°$, iar amplitudinea oscilațiilor este mică.

□ 8.8. Un mic corp legat de un fir lung de 50 cm oscilează în cabina unui avion. Care este perioada oscilațiilor: a) dacă avionul se mișcă uniform? b) dacă avionul se mișcă orizontal cu accelerația $a = 2{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$? c) dacă avionul planează coborînd sub unghiul $\alpha = 15°$ cu orizontala. (Rezistența la înaintare se neglijează.)

□ 8.9. Un mic corp legat de un fir cu lungimea $l = 10$ cm se află în interiorul unui lichid a cărui densitate este de $n = 1{,}2$ ori mai mică decît densitatea corpului. Să se afle perioada oscilațiilor neglijînd rezistența lichidului și admițînd că masa efectivă care participă la oscilație, constă din masa corpului la care se adaugă și masa lichidului dezlocuit.

○ 8.10. Un pendul constă dintr-o tijă foarte ușoară pe care sînt fixate două greutăți identice, una la distanța de 30 cm de axă, iar cealaltă la 15 cm. Care este perioada oscilațiilor acestui pendul?

△ 8.11. a) Să se afle perioada oscilațiilor unei sfere omogene în jurul unei axe orizontale aflată la distanța $0{,}3\ R$ de centrul sferei. Raza sferei este $R = 6$ cm. b) Care va fi perioada oscilațiilor dacă axa de oscilație face 80° cu planul orizontal?

□ 8.12. O placă subțire în formă de dreptunghi poate oscila în jurul unei axe de-a lungul căreia se află una din laturi. Cealaltă latură are lungimea l. a) Care este perioada oscilațiilor? b) La ce distanță trebuie să se găsească axa de oscilație față de latura superioară pentru ca perioada oscilațiilor să fie minimă? Cît este în acest caz perioada?

△ 8.13. O sferă cu raza de 5 cm este legată de un fir lung de 10 cm. Să se calculeze eroarea relativă care apare considerînd acest pendul ca un pendul matematic cu lungimea de 15 cm.

△ 8.14. Un corp oarecare oscilează în jurul unei axe cu perioada $T = 0{,}5$ s. Dacă i se adaugă o masă de 50 g la distanța de 10 cm dedesubtul axei de oscilație perioada devine $T_1 = 0{,}6$ s. Să se găsească momentul de inerție al corpului în raport cu axa de oscilație.

△ 8.15. Să se afle perioada oscilațiilor unei mase de 121 g mercur aflat într-un tub în formă de U (vezi figura 8.15). Tubul are secțiunea $S = 0{,}3$ cm^2.

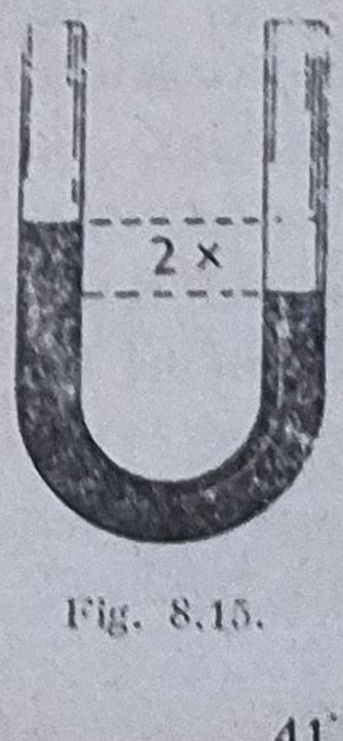


Fig. 8.15.

△ 8.16. O mică bilă se rostogolește pe fundul unui vas sferic. Presupunînd că oscilațiile sînt sinusoidale, să se afle perioada lor.

△ 8.17. Presupunem că de-a lungul unui diametru al Pămîntului a fost săpat un canal. Considerînd Pămîntul ca o sferă omogenă de densitate $\rho = 5{,}5\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ să se găsească timpul în care un corp ajunge de la suprafață în centrul Pămîntului.

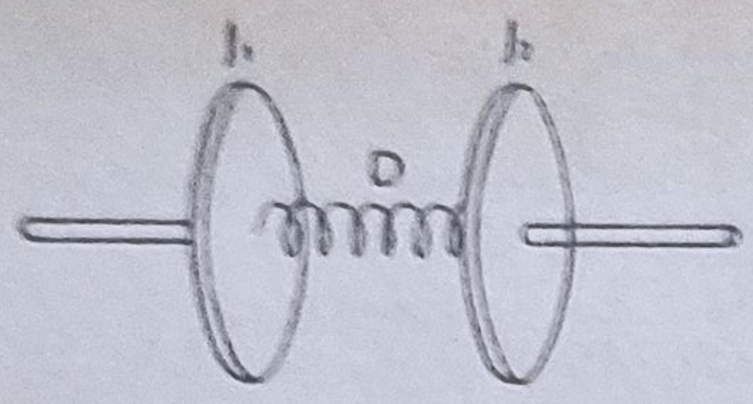


Fig. 8.18.

□ 8.18. Două discuri se pot roti în jurul a două axe aflate în prelungire (vezi figura 8.18). Momentele de inerție ale discurilor în raport cu axa comună sînt J_1 și J_2. Discurile sînt legate printr-un resort a cărui constantă de torsiune este D. a) Să se afle perioada cu care vor oscila discurile dacă vor fi rotite în sensuri opuse și apoi lăsate libere. b) Cum se va modifica perioada dacă unul din discuri va fi fixat?

□ 8.19. Să se afle perioada oscilațiilor de rotație ale unui disc subțire legate de 3 fire paralele cu lungimea de 120 cm (vezi figura 8.19).

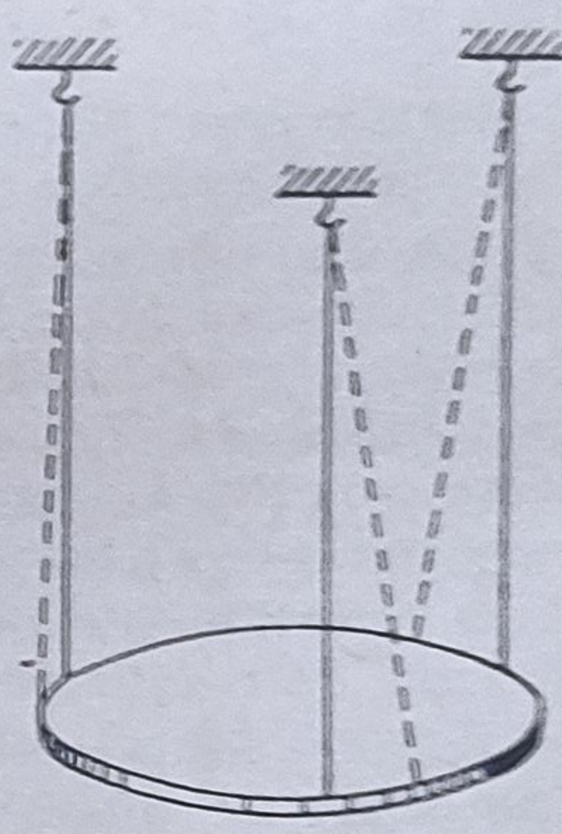


Fig. 8.19.

□ 8.20. De un fir de oțel cu lungimea $l = 6$ m și secțiunea $S = 0{,}5$ mm² este suspendată o sferă metalică cu masa $m = 2$ kg. Sfera este ridicată la o înălțime oarecare h și apoi este lăsată liberă astfel că încep să se producă oscilații ale sferei în direcție verticală. a) Ce caracter au aceste oscilații pentru diferite valori ale lui h?

b) Pentru ce valori ale amplitudinilor oscilațiile sînt sinusoidale?

c) Să se afle perioada oscilațiilor sinusoidale.

△ 8.21. Doi scripeți se învîrtesc cu frecvență mare în sensuri contrare ca în figura 8.21. Distanța dintre axele scripeților este $d = 10$ cm. Coeficientul de frecare între scripeți și vergeaua așezată pe ei este $\mu = 0{,}25$. Dacă vergeaua se așază inițial astfel încît centrul său de greutate C să fie mai aproape de unul din scripeți, vergeaua va începe să efectueze oscilații de translație. a) Să se arate că aceste oscilații sînt sinusoidale și să se găsească perioada lor. b) De ce, la rotația înceată a scripeților, oscilațiile vergelei pot fi și nesinusoidale?

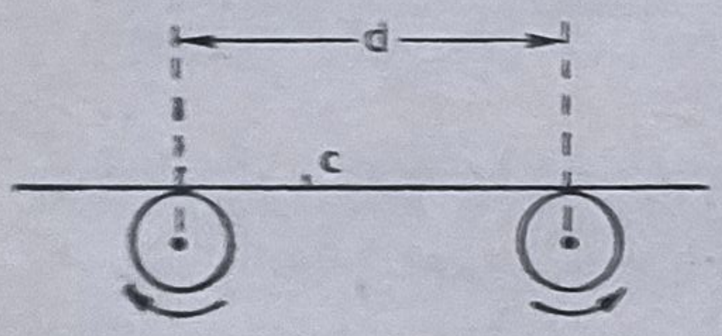


Fig. 8.21.

○ 8.22. Amplitudinea inițială a unui pendul este 3 cm. După 10 s ea devine 1 cm. După cît timp amplitudinea va deveni 0,3 cm?

○ 8.23. Trei poziții extreme succesive ale acului unui galvanometru au indicat diviziunile $n_1 = 20{,}0$, $n_2 = 5{,}6$, $n_3 = 12{,}8$. Considerînd decrementul amortizării constant, să se afle la ce diviziune se va opri acul galvanometrului.

△ 8.24. Care este decrementul logaritmic al amortizării oscilațiilor unui pendul lung de 0,8 m dacă amplitudinea inițială este 5° iar după 5 min ea devine 0,5°?

○ 8.25. După cît timp se va micșora de $n = 10^8$ ori energia oscilațiilor unui diapazon care are frecvența $\nu = 600$ Hz, dacă decrementul logaritmic este 0,0008?

△ 8.26. Să se afle spațiul total străbătut de un oscilator pînă la oprire dacă amplitudinea primei oscilații este 1 mm, iar decrementul logaritmic este 0,002.

△ 8.27. Amplitudinea unor oscilații amortizate se micșorează într-o perioadă de 3 ori. a) Cu cît la sută este mai mare perioada decît în absența forței de rezistență? b) Pentru ce unghi de fază elongația este maximă? c) Pentru ce unghi de fază viteza este maximă? d) Să se traseze, cu aproximație, graficul spațiului și vitezei acestor oscilații.

□ 8.28. a) Un corp elastic oscilează într-un mediu rezistent iar decrementul logaritmic este egal cu 0,7. Sînt posibile oscilații amortizate ale acestui corp în alt mediu cu coeficientul de rezistență de 10 ori mai mare? b) Aceeași întrebare dacă decrementul logaritmic în mediul dat este: 0,6; 0,1. c) Dacă sînt posibile oscilații într-un mediu mai vîscos, ce se poate spune despre decrementele oscilațiilor?

○ 8.29. Cu ce viteză merge un tren dacă arcurile oscilează cu amplitudine maximă? Lungimea șinelor este 12,5 m, încărcătura pe un arc este 5,5 kN iar arcurile se deformează cu 16 mm la o sarcină de 1 kN?

△ 8.30. La frecvențele unei forțe periodice excitatoare $\nu_1 = 200$ Hz și $\nu_2 = 300$ Hz amplitudinile vitezei oscilațiilor forțate sînt egale. Știind că în ambele cazuri forța excitatoare are aceeași valoare maximă, să se afle frecvența corespunzătoare rezonanței vitezei.

△ 8.31. La frecvențele unei forțe periodice $\nu_1 = 200$ Hz și $\nu_2 = 300$ Hz amplitudinile oscilațiilor forțate sînt egale. Să se afle frecvența de rezonanță a amplitudinii.

△ 8.32. Pe graficul dependenței vitezei maxime a oscilațiilor forțate de frecvența forței excitatoare se duce o dreaptă paralelă cu axa absciselor la o distanță egală cu jumătatea ordonatei maximului curbei. Intersecția cu graficul determină un segment $\Delta\nu = 20$ Hz. Să se afle coeficientul de amortizare.

△ 8.33. Amplitudinea oscilațiilor forțate de frecvență foarte mică este 2 mm iar la rezonanță 16 mm. Să se afle decrementul logaritmic al amortizării oscilațiilor știind că este mai mic decît unitatea.

□ 8.34. O coardă de oțel este întinsă între polii unui electromagnet, prin înfășurarea căruia trece un curent alternativ. Coarda intră în oscilație cu frecvența curentului. Tensiunea în coardă se mărește progresiv. Cînd frecvența oscilațiilor proprii ale corzii este 100 Hz, puterea curentului de alimentare a electromagnetului devine maximă, cu 50% mai mare decît în absența corzii.

Dacă frecvența oscilațiilor proprii este 101 Hz puterea consumată depășește numai cu 5%, puterea electrică consumată în absența corzii. Să se afle timpul τ în care amplitudinea oscilațiilor corzii se micșorează de 10 ori dacă se întrerupe curentul electric.

△ 8.35. Pendulul unui ceasornic cu masa de 40 g oscilează cu perioada 0,4 s iar centrul său de greutate oscilează cu amplitudinea de 7 mm. Dacă ceasul nu este întors amplitudinea oscilațiilor se micșorează de două ori în decursul a 3 oscilații. Să se afle lucrul mecanic necesar la întoarcerea arcului ceasornicului pentru timp de o săptămînă.

□ 8.36. Să se afle perioada oscilațiilor unui pendul deviat la 90°. Indicație: Se va folosi legea conservării energiei pentru exprimarea vitezei pe traiectorie iar integrala se va calcula prin aproximație.

§ 9. Mișcarea lichidelor și gazelor

I. Viteza de curgere a unui lichid printr-o mică deschidere (formula lui Torricelli): $v = \sqrt{2gh}$ unde h este adîncimea deschiderii față de suprafața liberă a lichidului.

II. Curgerea staționară a unui fluid ideal se supune teoremei lui Bernoulli $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g h = \text{const.}$ unde p este presiunea statică, ρ densitatea fluidului, v viteza de curgere, h denivelarea.

III. Dacă un corp solid se mișcă într-un fluid cu viteza v iar scurgerea fluidului în jurul corpului este laminară forța de rezistență este dată de formula $\vec{F} = -k\eta b\vec{v}$ unde η este viscozitatea fluidului, b o mărime care caracterizează dimensiunile liniare ale corpului, iar k o constantă care depinde de forma corpului avînd aceeași valoare pentru toate corpurile asemenea din punct de vedere geometric. Semnul minus arată că forța este îndreptată în sens opus vitezei. În cazul unei sfere $b = r$, iar $k = 6\pi$ și atunci $\vec{F} = -6\pi\eta r\vec{v}$ (formula lui Stokes).

IV. La curgerea laminară a unui lichid printr-o conductă circulară de rază interioară r volumul de lichid care se scurge într-un timp t este $V = \frac{\pi r^4 t}{8l\eta}\Delta p$ unde Δp este diferența presiunilor statice între două puncte situate pe axa conductei la distanța l (formula lui Poiseuille).

V. La scurgerea turbulentă a unui fluid de densitate ρ în jurul unui corp de secțiune transversală maximă S care înaintează cu viteza — nu foarte mare — v, forța de rezistență este dată de formula lui Newton: $F = CSv^2\rho$ unde C este un coeficient care depinde de forma corpului.

VI. Mișcarea unui fluid se caracterizează prin numărul lui Reynolds: $Re = \frac{bV\rho}{\eta}$ unde b este o mărime care depinde de dimensiunile liniare ale tubului de curent. Pentru valori mici ale numărului lui Reynolds mișcarea este laminară, pentru valori mari, turbulentă. Trecerea de la regimul de curgere laminară la cel de curgere turbulentă are loc pentru valori ale numărului lui Reynolds: $Re = 0{,}5$ la scurgerea fluidului în jurul unei sfere, b fiind diametrul sferei și $Re = 3\,000$ pentru curgerea unui lichid printr-o conductă, b fiind diametrul conductei.

VII. În rezolvarea primelor 9 probleme vom presupune că viscozitatea fluidelor ca și compresibilitatea lor sînt foarte mici.

○ 9.1. În fundul unei găleți cilindrice se află un orificiu prin care curge apă. Nivelul apei în găleată este 30 cm. Cu ce viteză curge apa în următoarele cazuri dacă găleata: a) este nemișcată; b) se ridică uniform; c) urcă și apoi coboară cu accelerația $120\,\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$; d) oscilează cu amplitudinea de 6 cm. (Se vor considera pozițiile extremă și cea de echilibru.)

○ 9.2. Într-un rezervor se toarnă apă cu debitul $150\,\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$. În fundul rezervorului se află un orificiu cu aria de 0,5 cm². Ce nivel poate atinge apa în rezervor?

○ 9.3. Pe o masă orizontală se află un vas umplut cu apă prevăzut cu un șir de orificii așezate pe aceeași verticală. a) Să se arate că toate jeturile ating masa cu aceeași viteză. b) Să se arate că două jeturi ating același punct al mesei dacă distanța de la un orificiu la suprafață este egală cu distanța de la celălalt la fundul vasului. c) Unde trebuie să se afle un orificiu din care jetul să ajungă la distanță maximă pe masă?

△ 9.4. Un vas cilindric cu înălțimea de 70 cm și aria bazei 600 cm^2 este plin cu apă. În fundul vasului se află un orificiu cu aria de 1 cm^2. a) Ce mișcare are nivelul lichidului? b) În cît timp se golește vasul? c) În cît timp se golește vasul pe jumătate? d) Se va mări sau se va micșora timpul de golire dacă vasul va efectua oscilații armonice în plan vertical?

○ 9.5. a) Să se arate (vezi figura 9.5) că lucrul mecanic de deplasare a pistonului din dreapta este mai mare decît lucrul mecanic de deplasare a celui din stînga. b) De ce este necesar un lucru mecanic suplimentar, prin folosirea acestui dispozitiv pentru amplificarea forței?

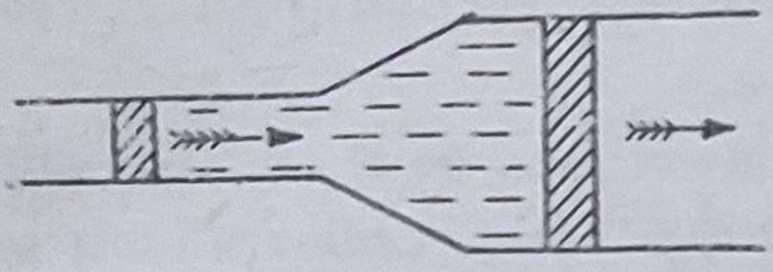


Fig. 9.5.

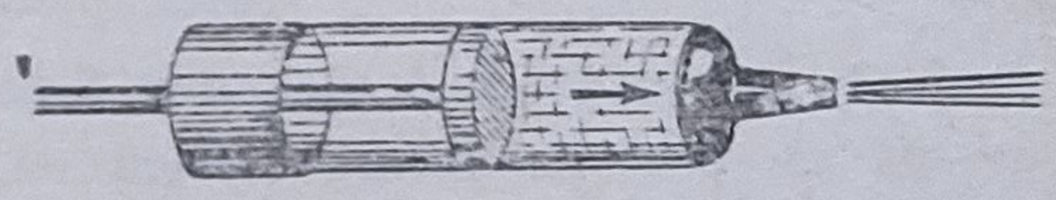


Fig. 9.6.

○ 9.6. Secțiunea unei seringi (vezi figura 9.6) are $S_1 = 1{,}2$ cm^2, iar deschiderea are $S_2 = 1$ mm^2. În cît timp se golește seringa de apă dacă se apasă pe piston cu $F = 5$ N, iar cursa pistonului este $l = 4$ cm?

△ 9.7. Pentru a evita staționarea unei locomotive în scopul umplerii cu apă a cazanului, ea se poate alimenta din mers folosind o conductă îndoită ca în figura 9.7, dintr-un canal aflat între șine. Cum se explică urcarea apei în conducta verticală? Cu ce viteză trebuie să meargă trenul pentru ca apa să se ridice la înălțimea $h = 3{,}5$ m și cazanul să primească 3 m^3 de apă pe distanța de 1 km? Diametrul conductei este 10 cm.

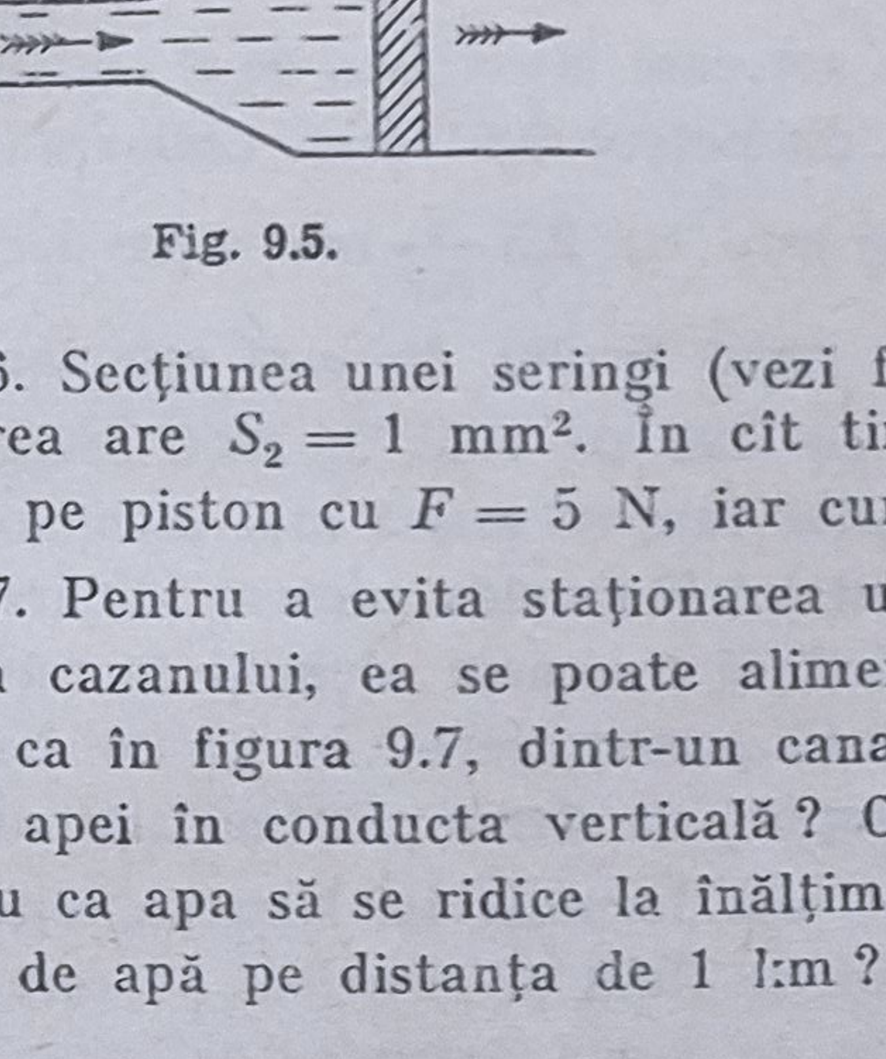


Fig. 9.7.

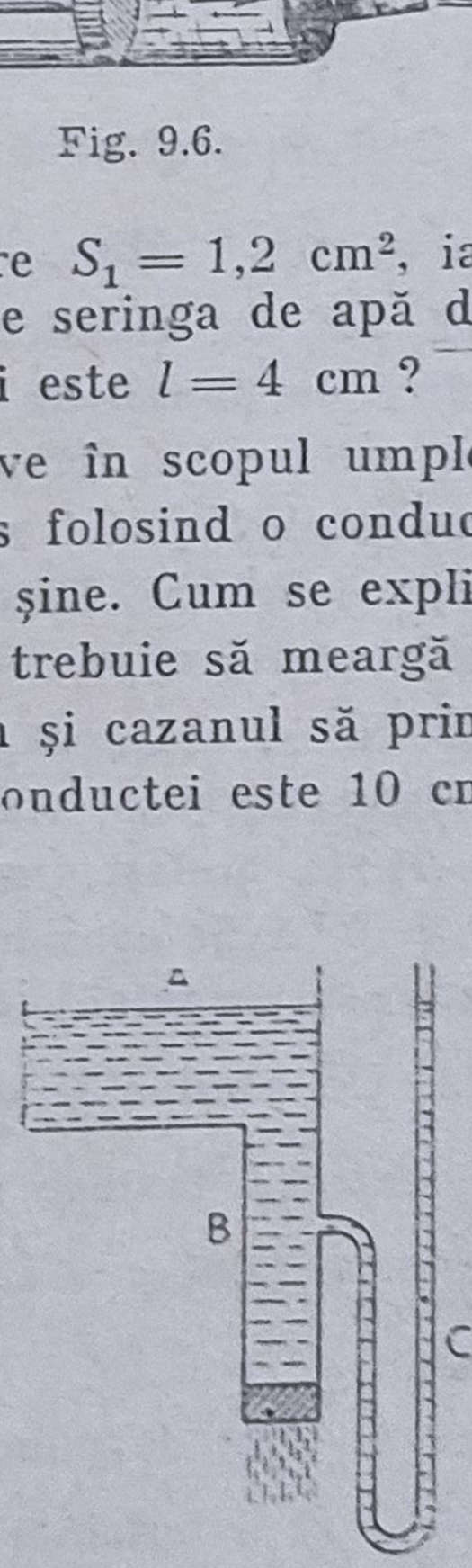


Fig. 9.8.

○ 9.8. Un vas larg A se continuă cu un tub vertical B astupat cu un dop și legat la un manometru C (vezi figura 9.8). Nivelul lichidului în vas și

în manometru este același. a) Cum se va stabili nivelul lichidului în manometru dacă se scoate dopul? b) Care ar fi răspunsul dacă tubul B se îngustează în jos?

○ 9.9. Dintr-un furtun cu secțiunea de ieșire $S = 1{,}5\ \text{cm}^2$ iese un jet de apă cu debitul $60\,\frac{\text{l}}{\text{min}}$. Cu cît este mai mare presiunea apei decît presiunea atmosferică la 3 m mai jos de gura furtunului dacă secțiunea acestuia este $S = 10\ \text{cm}^2$?

△ 9.10. Pentru măsurarea masei de gaz care trece printr-o conductă se folosește tubul din figura 9.10. Să se afle masa de gaz care se scurge într-o oră dacă $d_1 = 50$ mm, $d_2 = 40$ mm, iar diferența presiunilor statice în punctele A și B este $\Delta p = 12$ mm coloană de apă. Densitatea gazului este $\rho = 0{,}0014\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Se neglijează frecarea și variația densității gazului prin micșorarea presiunii.

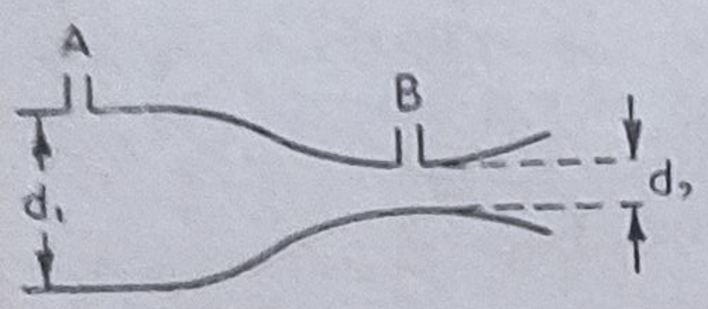


Fig. 9.10.

○ 9.11. Într-o coloană ascendentă de aer care are viteza de 2 cm/s se află un fir de praf de formă sferică cu diametrul 0,01 mm. Coboară sau se ridică firul de praf dacă densitatea lui este cu $2{,}3\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ mai mare decît densitatea aerului? Mișcarea aerului în jurul firului de praf este laminară.

△ 9.12. Într-un cilindru înalt, plin cu ulei de ricin la 20°C se introduc mici sfere de plumb de diametre diferite care se mișcă mai întîi accelerat și apoi uniform. a) Să se afle numărul lui Reynolds pentru mișcarea unei sfere cu diametrul 0,1 mm presupunînd că mișcarea uleiului în raport cu sfera este laminară. Este corectă această presupunere? b) La ce diametru maxim al sferei mișcarea uleiului în raport cu sferea rămîne laminară?

□ 9.13. Să se arate că, coeficientul C din formula lui Newton reprezintă cîtul dintre impulsul transmis corpului de fluid și impulsul pe care i l-ar transmite în același timp fluidul care în urma întîlnirii cu corpul ar fi deviat la 90°. (Se consideră numai un tub de curent avînd secțiunea egală cu secțiunea corpului.)

○ 9.14. Un camion se deplasează cu viteza de $60\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Ce putere se consumă pentru a învinge rezistența aerului dacă $S = 3{,}75\ \text{m}^2$? $C = 0{,}6$, iar densitatea aerului $\rho = 1{,}2\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Mișcarea aerului în raport cu camionul este turbulentă.

△ 9.15. O alică de plumb cu diametrul de 5 mm are viteza, în aer, $v = 300\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. a) Cunoscînd densitatea aerului $\rho = 1{,}2\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, să se afle numărul lui Reynolds. b) Cu ce accelerație se mișcă alica la această viteză? Se neglijează masa aerului dezlocuit și prezența cîmpului gravitațional. Pentru sferă $C = 0{,}25$.

○ 9.16. a) Care este viteza maximă de curgere a apei la temperatura de 15°C printr-o conductă cu diametrul de 2 cm astfel încît curgerea să rămînă încă laminară? b) Care este, la această viteză, diferența de presiune dintre două puncte aflate la distanța de 200 m?

△ 9.17. Un vas larg, cu glicerină, este prevăzut, la 10 cm sub nivelul glicerinei, cu un tub capilar orizontal lung de 20 cm și diametrul interior de 1 mm, care se continuă cu alt tub lung de 2 cm și cu diametrul interior de 0,5 mm. Ce volum de glicerină se va scurge într-un minut?

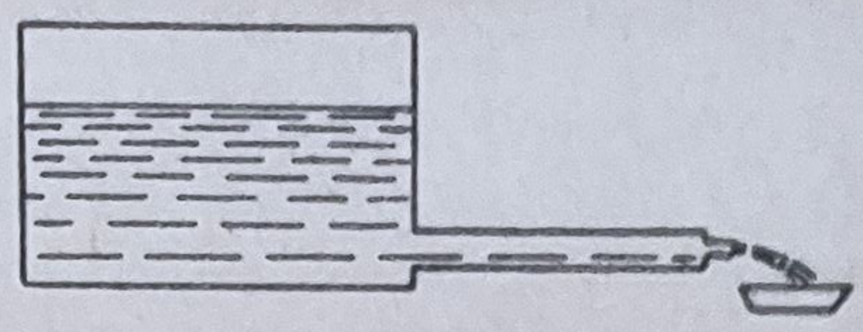


Fig. 9.17.

CAPITOLUL II

FIZICA MOLECULARĂ

§ 10. Dilatația corpurilor solide și lichide sub acțiunea căldurii

I. Variația lungimii și a volumului la variația Δt a temperaturii $\Delta l = l - l_0 = \alpha l_0 \Delta t$; $\Delta V = V - V_0 = \gamma V_0 \Delta t$ unde l_0 este lungimea inițială, V_0 volumul inițial α și γ coeficienții de dilatație liniară și în volum.

II. Pentru corpuri solide izotrope $\gamma = 3\alpha$.

III. Densitatea la temperatura t $\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma t}$, ρ_0 fiind densitatea la 0°C.

○ 10.1. Două corpuri prismatice din același material, avînd volume și temperaturi diferite se așază unul în prelungirea celuilalt. Să se spună dacă, în urma schimbului de căldură, se vor modifica volumul total și lungimea totală. Se neglijează schimbul de căldură cu mediul exterior.

○ 10.2. Se poate măsura dilatația diametrului unui cilindru de alamă dacă micrometrul măsoară pînă la precizia de 0,01 mm? La 5°C măsurătoarea a indicat 20,45 mm și cilindrul a fost încălzit la 35°C.

○ 10.3. La 0°C o vergea de zinc are lungimea de 200 mm, iar una de cupru 201 mm. Dimensiunile lor transversale sînt egale la 0°C. a) La ce temperatură vor avea aceeași lungime? b) La ce temperatură vor avea același volum?

△ 10.4. Două vergele de aceeași lungime (vezi figura 10.4) AB și AC confecționate dintr-un metal cu coeficientul de dilatație, α_1 sînt articulate în A precum și cu vergeaua BC care are coeficientul de dilatație α_2. Capetele vergelelor AC și AB sînt îmbrăcate în tuburile AD și AH, constituite din același material ca vergeaua BC. Știind că $AD = AH$, care trebuie să fie raportul dintre α_1 și α_2 pentru ca prin schimbarea temperaturii distanța DH să rămînă constantă?

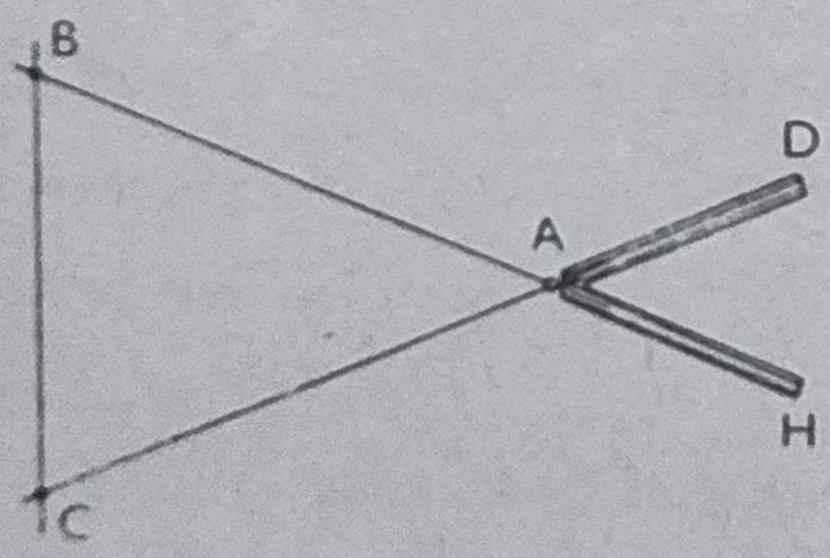


Fig. 10.4.

○ 10.5. O sferă metalică rece este scufundată în apă fierbinte și o sferă identică fierbinte este scufundată în apă rece. Ce deformații vor suferi straturile exterioare și interioare ale sferelor?

△ 10.6. Un ceasornic cu pendul de alamă merge exact la 0°C. Cu cît va întîrzia ceasornicul în 24 ore, la temperatura de 20°C?

○ 10.7. Cum se va modifica viteza unghiulară a unui corp care se rotește fără frecare în jurul unei axe dacă temperatura crește de la 0°C la 1°C? Cum se va modifica energia cinetică? Pe seama cui se produce variația energiei?

○ 10.8. Într-unul din două vase comunicante temperatura crește, iar în celălalt rămîne neschimbată. Se modifică nivelul lichidului în cel de-al doilea vas?

○ 10.9. La ce temperatură densitatea mercurului este de $13{,}48 \frac{g}{cm^3}$ dacă la 10°C ea este de $13{,}57 \frac{g}{cm^3}$?

△ 10.10. Un vas de sticlă cîntărește gol $P_0 = 0{,}52$ N și plin cu mercur la 0°C, $P_1 = 13{,}56$ N. Încălzit la 40°C el cîntărește $P_2 = 13{,}48$ N. Cît este coeficientul de dilatație cubică al sticlei?

△ 10.11. La citirea scării unui barometru cu mercur se face corecția de dilatație a scării și de variație a densității mercurului. Cît ar indica barometrul la 0°C dacă la 30°C el indică 758,2 mm? Scara barometrului este din alamă.

△ 10.12. Un termometru cu mercur, din sticlă este parțial introdus într-o conductă cu aburi pînă la diviziunea 27°C. Temperatura exterioară este de 30°C. Știind că termometrul a fost gradat la o aceeași temperatură, să se afle temperatura aburilor dacă termometrul indică 170°C.

§ 11. Proprietățile gazelor ideale

I. Ecuația lui Clapeyron — Mendeleev $pV = \frac{m}{\mu} RT$ în care p este presiunea gazului, V este volumul gazului, μ masa kilomolară, R constanta gazelor, $R = 8\,310 \frac{J}{kmol\ K}$.

II. Presiunea unui amestec de gaze este egală cu suma presiunilor parțiale ale gazului din amestec (legea lui Dalton).

III. Formula barometrică $h = \frac{RT}{\mu g} \ln \frac{p_0}{p}$.

IV. În rezolvarea problemelor se va ține seama că presiunea gazelor măsurată cu manometrul este cu $9{,}8 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2} = 1 \frac{kgf}{cm^2}$ mai mare decît indicația manometrului. În primele 5 probleme se consideră temperatura constantă.

△ 11.1. Cîte pompări trebuie făcute la umflarea unei camere de bicicletă, dacă la fiecare pompare se aspiră 40 cm^3 de aer astfel încît suprafața sa de contact cu pămîntul să fie 60 cm^2? Sarcina pe roată este de 350 N. Volumul camerei este 2 000 cm^3. Presiunea atmosferică este de 10^5 N/m^2. Rigiditatea anvelopei se neglijează.

△ 11.2. Într-un barometru cu mercur a pătruns o bulă de aer astfel că, la o presiune reală de 768 Torr, el indică 748 Torr, iar înălțimea coloanei de aer de deasupra mercurului este de 80 mm. Cît este presiunea atmosferică dacă acest barometru indică 734 Torr?

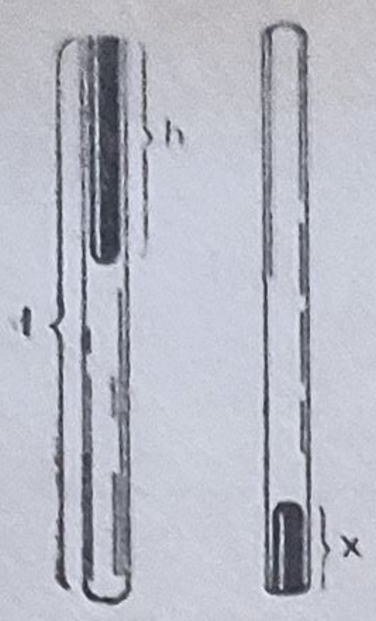


Fig. 11.3.

△ 11.3. În partea superioară a unui tub de sticlă închis la un capăt, lung de 70 cm, se află o coloană de mercur de 20 cm, care închide o coloană de aer (fig. 11.3). Tubul se întoarce cu gura în jos și o parte din mercur se varsă. a) Cît este înălțimea x a coloanei de mercur rămase? Presiunea atmosferică este de 75 cm Hg. b) Pentru ce lungime a tubului de sticlă coloana de mercur se va vărsa în întregime la răsturnarea tubului?

△ 11.4. În figura 11.4 este reprezentat un manometru pentru presiuni mici. Tubul C se pune în legătură cu balonul în care se află gazul a cărui presiune se măsoară. Ridicînd ramura A mercurul se ridică pînă la tubul D separînd astfel gazul din acest tub de gazul din balon.

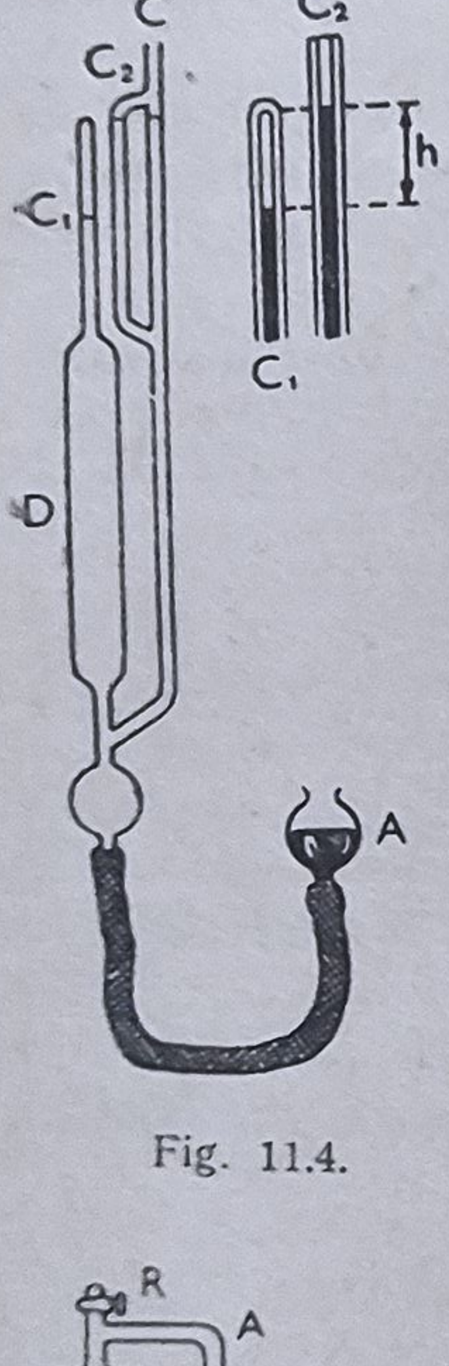


Fig. 11.4.

Ridicînd ramura A mercurul pătrunde în capilarele C_1 și C_2. Care este presiunea gazului în balon pentru următoarele date: volumul tubului D este de 130 cm³; diametrul interior al capilarelor este de 1,1 mm; diferența nivelelor în cele două capilare este de 23 mm. nivelul mercurului în capilarul C_2 coincide cu extremitatea capilarului C_1?

△ 11.5. Cu volumetrul reprezentat în figură se fac următoarele măsurători. 1) Se deschide robinetul R punînd în legătură tubul AB și vasul V cu aerul atmosferic. Ramura C se aduce într-o asemenea poziție încît mercurul să se afle la indicele l. 2) Se închide robinetul R și se ridică ramura C astfel ca mercurul să atingă indicele n. Se citește diferența de nivel a mercurului între C și $AB = h_1 = 18{,}5$ cm. 3) Se deschide robinetul R și în vasul V se introduc $m = 72$ g boabe de secară. Se stabilește nivelul mercurului la indicele l și din nou se închide robinetul R. 4) Ridicînd tubul C pînă la AB se atinge iarăși indicele n, se măsoară din nou diferența de nivel $l_2 = 30{,}5$ cm. Să se afle densitatea boabelor de secară știind că volumul vasului V și al tubului AB pînă la indicele n este $V = 152$ cm³.

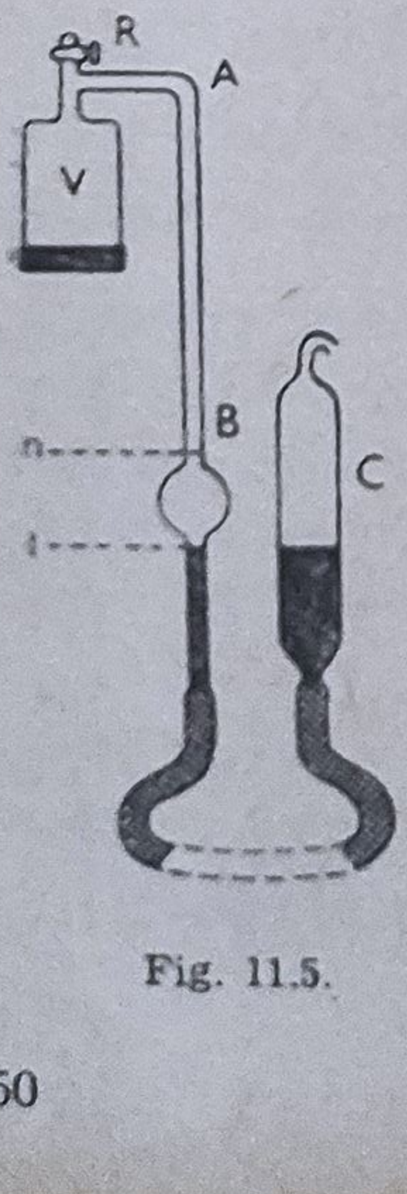


Fig. 11.5.

○ 11.6. Manometrul atașat unui balon cu un gaz comprimat indică $8{,}4 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ la temperatura de 18°C. Ce presiune va indica manometrul dacă temperatura scade la — 23°C? Se neglijează contracția balonului prin răcire.

○ 11.7. Un gaz are $p = 745$ Torr, $t = 20$°C și $V = 164$ cm³. Ce volum va avea aceeași masă de gaz în condiții normale?

△ 11.8. Un compresor aspiră la fiecare cursă 4 l aer la presiunea normală și temperatură de $-3°C$ și îl pompează într-un rezervor de 1,5 m^3 în care temperatura este de 45°C. Cîte curse trebuie să facă pistonul pentru ca presiunea în rezervor să crească cu $2 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$?

△ 11.9. Un balon de 20 l, cu aer comprimat, are temperatura de 20°C. Manometrul indică presiunea de $1{,}2 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}$. Ce volum de apă se poate evacua cu acest balon din rezervorul unui submersibil la adîncimea de 30 m și temperatura de 5°C? Se vor lua: presiunea atmosferică de $10^5 \frac{N}{m^2}$ iar presiunea unei coloane de 10 m de apă egală tot cu $10^5 \frac{N}{m^2}$.

△ 11.10. Să se afle presiunea a 4 kg oxigen aflat într-un vas cu volumul de 2 m^3 la temperatura de 29°C.

○ 11.11. Să se afle volumul specific al azotului la temperatura de 27°C și presiunea de $4{,}9 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2}$.

○ 11.12. Să se afle masa de oxigen aflată într-un balon cu capacitatea de 10 l, dacă la temperatura de $-13°C$ manometrul indică $8{,}8 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$.

○ 11.13. Pe la robinetul unui balon cu hidrogen, cu capacitatea de 10 l se scurge o masă de gaz astfel că la 7°C și la 17°C manometrul indică aceeași presiune de $4{,}9 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$. Cît gaz a ieșit în timpul în care a crescut temperatura?

△ 11.14. Printr-o conductă se scurge bioxid de carbon la presiunea $p = 3{,}9 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$ și temperatura $t = 7°C$. Cu ce viteză se scurge gazul dacă în timpul $\tau = 10$ min s-au scurs $m = 2$ kg de gaz? Secțiunea tubului $S = 5$ cm^2.

△ 11.15. Printr-o conductă cu diametrul de 3 cm se scurge aer la presiunea de 50 at și temperatura de 0°C. La ce viteză apare curgerea turbulentă? Observație: Viscozitatea gazelor nu depinde practic de presiune.

△ 11.16. La începutul ascensiunii unui balon numai $\frac{1}{10}$ pînă la $\frac{1}{8}$ din volumul maxim al învelișului său este plin cu hidrogen. Prin ridicare, volumul învelișului crește apoi rămîne constant și hidrogenul începe să iasă prin apendice. În acest fel se stabilește egalitatea presiunii hidrogenului din interior și a aerului din exterior, la aceeași temperatură. a) Să se arate că dacă hidrogenul nu iese prin apendice, forța ascensională rămîne constantă, iar prin scurgerea hidrogenului ea scade. b) Cît hidrogen a ieșit din balon dacă forța ascensională s-a micșorat cu 264 N volumul balonului rămînînd constant?

▲ 11.17. Să presupunem că temperatura aerului atmosferic depinde de înălțime în așa fel încît densitatea lui să rămînă constantă. La ce distanță, pe verticală, diferența temperaturilor este de 1°C?

□ 11.18. Pistonul dintr-un cilindru așezat vertical separă două mase egale dintr-un același gaz la temperatura $T_1 = 300$ K. Raportul volumelor celor două mase de gaz este $n = 3$. Care va fi raportul volumelor dacă temperatura crește la $T_2 = 400$ K?

○ 11.19. Trei baloane cu volumele de 3 l, 7 l, 5 l conțin respectiv oxigen (2 at), azot (3 at) și bioxid de carbon (0,6 at) la aceeași temperatură. Ce presiune rezultă dacă cele trei baloane se pun în legătură?

△ 11.20. Să se afle masa kilomolară a unui gaz care are proprietățile unui amestec de 160 g oxigen cu 120 g azot.

△ 11.21. Să se afle densitatea unui amestec de 4 g hidrogen și 32 g oxigen la temperatura de 7°C și presiunea de 700 Torr.

△ 11.22. Compoziția procentuală a unui gaz este următoarea: CO_2 — 21,4%, H_2O — 6,8%; N_2 — 71,8%. Să se afle volumul specific al gazului la presiunea de $10^5 \frac{N}{m^2}$ și temperatura de 500 K.

● 11.23. Presiunea unui gaz la nivelul mării este $p_0 = 750$ Torr, iar pe vîrful unui munte $p = 590$ Torr. Care este înălțimea muntelui dacă temperatura aerului este aceeași, $t = 5$°C?

● 11.24. În interiorul unei conducte așezată vertical, cu înălțimea de 100 m, se află aer la temperatura de 500 K. Temperatura aerului din exterior este de 250 K. La partea de sus conducta este deschisă, iar în cea de jos se află o clapetă cu aria de 300 cm^2. Ce forță acționează asupra clapetei dacă presiunea aerului la capătul superior al conductei este de 740 Torr?

■ 11.25. Un tub lung de 22 cm se rotește în jurul unei axe verticale care trece prin mijlocul său, cu frecvența $\nu = 30$ s^{-1}. Temperatura aerului este 16°C. Considerînd că presiunea în tub, la capete, este egală cu presiunea atmosferică (760 Torr) să se afle presiunea la mijlocul tubului.

§ 12. Primul principiu al termodinamicii și aplicațiile lui la gazele ideale

I. Primul principiu al termodinamicii $dU = -pdV + dQ$ unde dU este variația energiei interne, pdV lucrul mecanic efectuat împotriva forțelor exterioare, dQ căldura primită de sistem.

II. Căldurile specifice ale gazelor ideale (căldurile masice)* depind de natura gazului și de caracterul procesului prin care gazul absoarbe căldura. În cazul anumitor procese (vezi problema 12.22) căldurile specifice ale gazelor depind și de temperatură. Căldurile specifice în procesele izocor și izobar, c_v și c_p, nu depind de temperatură.

III. Energia internă a gazului ideal: $U = c_v m T = \frac{pV}{\gamma - 1}$ unde $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

IV. Relația între căldurile specifice ale gazului ideal: $c_p = c_v + \frac{R}{\mu}$.

V. Lucrul mecanic efectuat într-un proces izoterm $L = Q = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$.

* Al doilea termen este folosit din ce în ce mai frecvent.

VI. Ecuația lui Poisson pentru procese adiabatice : $pv^{\gamma} = \text{const.}$

○ 12.1. Considerînd, pentru gaze biatomice, $\gamma = 1{,}4$, să se calculeze căldurile specifice : a) ale oxigenului ; b) ale azotului.

○ 12.2. Să se calculeze raportul $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ pentru un amestec de 3 kmol argon și 5 kmol oxigen.

○ 12.3. Un balon cu volumul de 10 l conținînd oxigen la presiunea de 80 at și temperatura de 7°C se încălzește la 15,5°C. Ce cantitate de căldură este necesară ?

△ 12.4. Un vas conținînd o cantitate de azot la temperatura $t_1 = 15°\text{C}$ se mișcă cu viteza $v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Care va fi temperatura t_2 a gazului din vas dacă el se oprește brusc ? (se neglijează pierderile de căldură prin pereți).

○ 12.5. Aerul dintr-o cameră de 90 m^3 se înlocuiește complet la fiecare 2 ore. Ce cantitate de căldură este necesară în 24 ore pentru a menține în cameră o temperatură de 18°C dacă aerul din exterior are temperatura de —5°C ? Se va considera că densitatea medie a aerului este $1{,}25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

△ 12.6. Un turbogenerator cu puterea de 3 000 kW este răcit cu aer. Să se afle volumul aerului absorbit și evacuat în timp de 1 secundă dacă randamentul generatorului este egal cu 94 %, temperatura aerului care iese din generator nu trebuie să depășească 50°C temperatura în sala mașinilor este de 20°C, iar presiunea aerului este de 750 Torr.

△ 12.7. În cilindrul unui motor cu petrol are loc o ardere rapidă a amestecului carburant. Care va fi temperatura t_2 și presiunea p_2 obținute în urma arderii dacă volumul camerei de ardere este $V = 10$ l, presiunea înainte de arderea $p = 5$ at, temperatura $t_1 = 210°\text{C}$, masa de petrol în amestec $m = 0{,}9$ g, căldura specifică a produselor de ardere $c_v = 711 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$, masă kilomolară medie a amestecului carburant $\mu = 29{,}4 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$, iar puterea calorică a petrolului $q = 41{,}85 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$? Indicații : Procesul de ardere se va considera izocor.

○ 12.8. 200 g azot se încălzesc la presiune constantă de la 20°C la 100°C. Ce cantitate de căldură este necesară ? Cu cît crește energia internă a gazului ? Ce lucru mecanic efectuează presiunea gazului ?

△ 12.9. Un cilindru cu piston închide o cantitate de aer. Ce lucru mecanic trebuie efectuat pentru a ridica pistonul cu 10 cm dacă înălțimea inițială a coloanei de aer $h_0 = 15$ cm, iar presiunea exterioară $p_0 = 760$ Torr. Suprafața pistonului $S = 10\ \text{cm}^2$. Se neglijează greutatea pistonului. Temperatura rămîne constantă (vezi figura 12.9).

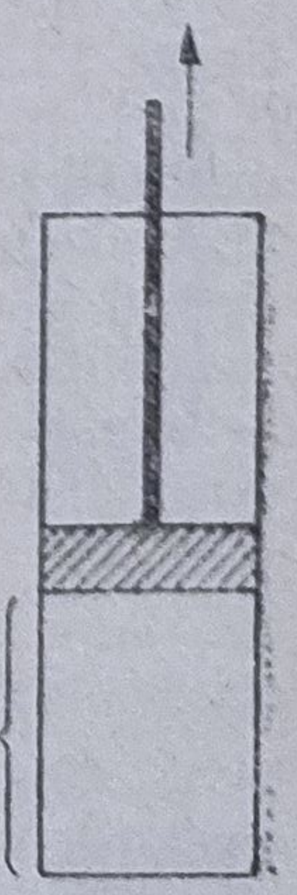


Fig. 12.9.

△ 12.10. a) Presiunea și volumul unei mase de azot aflată în două stări diferite au respectiv valorile $p_1 = 1$ at, $V_1 = 5$ l ; $p_2 = 3$ at ; $V_2 = 2$ l. Trecerea din starea 1 în starea 2 s-a realizat printr-un proces izocor urmat de un proces izobar. Să

se calculeze variaţia energiei interne, cantitatea de căldură necesară şi lucrul mecanic efectuat. b) Să se calculeze aceleaşi mărimi în cazul cînd transformarea are loc printr-un proces izobar urmat de un proces izocor. De ce diferă rezultatele de la punctele a) şi b) ?

△ 12.11. Un gaz biatomic ($\gamma = 1{,}4$) este comprimat izoterm şi respectiv adiabatic pornind de la aceleaşi valori iniţiale ale temperaturii şi presiunii. Presiunea finală este de n ori mai mare decît cea iniţială. Să se găsească raportul dintre lucrul mecanic efectuat în cazul comprimării adiabatice şi cel din cazul comprimării izoterme. Se vor examina cazurile : a) $n = 2$; b) $n = 100$.

○ 12.12. Aparatul din figura 12.2 serveşte pentru a demonstra încălzirea aerului la comprimarea adiabatică. Să se calculeze temperatura aerului la micşorarea bruscă a volumului de 10 ori dacă temperatura iniţială este de 15°C.

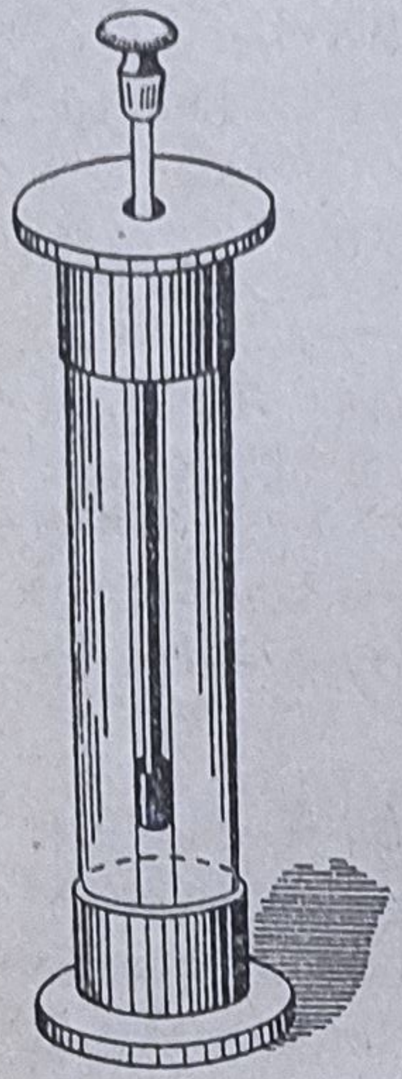


Fig. 12.12.

△ 12.13. O masă de aer uscat se ridică la înălţimea $h = 500$ m, fără schimb de căldură cu aerul înconjurător. Să se calculeze variaţia temperaturii masei de aer. Indicaţie : În calcul se va considera că prin ridicarea aerului se măreşte energia potenţială şi se efectuează lucrul mecanic de dilataţie pe seama variaţiei energiei sale interne.

△ 12.14. În cilindrul unui motor Diesel se aspiră 10 litri de aer atmosferic la presiunea de 1 at şi temperatura de 10°C. Prin comprimare adiabatică volumul se reduce de 12 ori. Să se calculeze presiunea şi temperatura obţinută în urma comprimării şi lucrul mecanic necesar comprimării aerului.

△ 12.15. a) Fie o masă de azot cu aceleaşi stări iniţială şi finală ca în problema 12.10, în care gazul suferă o transformare adiabatică urmată de o transformare izocoră. Să se calculeze variaţia energiei interne, cantitatea de căldură şi lucrul mecanic efectuat. b) Aceeaşi întrebare pentru cazul cînd se inversează ordinea celor două procese.

□ 12.16. Fie cilindrul cu piston din figura 12.16 plin cu aer la presiunea $p_0 = 1$ at. Pistonul este deplasat pe o distanţă foarte mică şi apoi este lăsat liber să oscileze (fără frecări). Considerînd procesele din cele două compartimente adiabatice, să se calculeze perioada oscilaţiilor pistonului. Se dau : masa pistonului $m = 1{,}5$ kg ; $l = 20$ cm ; $S = 100$ cm^2.

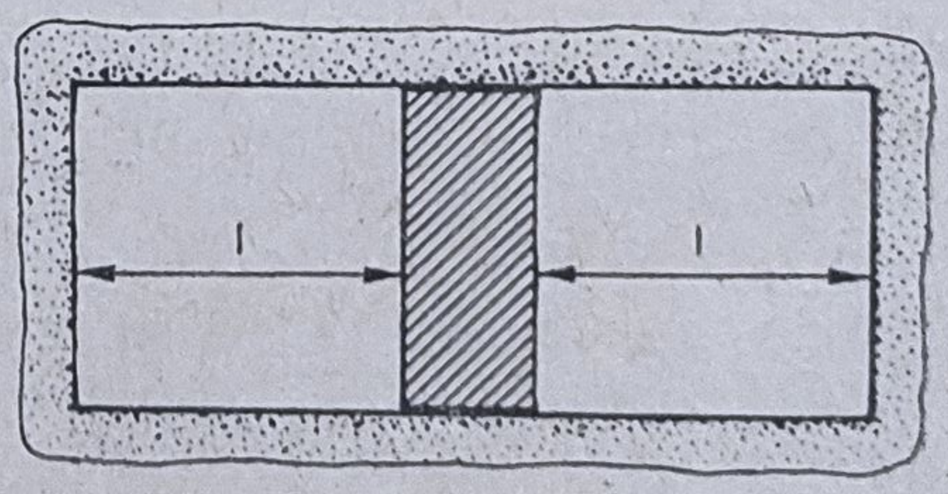


Fig. 12.16

○ 12.17. Să se reprezinte procesele izocor, izobar, adiabatic şi izoterm în sistemele de coordonate : a) T, p ; b) T, V ; c) T, U şi d) V, U.

△ 12.18. Două baloane cu pereţii termoizolatori, de volume V_1 şi V_2 conţin două gaze biatomice la presiunile şi temperaturile p_1, T_1, repsectiv $p_2 T_2$. Să se calculeze presiunea şi temperatura obţinute prin punerea în legătură

a celor două baloane. Raportul căldurilor specifice la presiune constantă și la volum constant are aceeași valoare pentru ambele gaze.

△ 12.19. În figura 12.19 este reprezentată diagrama „teoretică" de lucru a unui compresor cu acțiune dublă. Porțiunea AB corespunde comprimării izoterme a aerului; BC pompării aerului în rezervor; CD micșorării bruște a presiunii în cilindrul compresorului prin închiderea supapei de evacuare și deschiderea celei de admisie, iar DA admisiei aerului la presiunea atmosferică. Să se arate că lucrul mecanic efectuat de compresor într-o cursă este egal cu lucrul mecanic efectuat în procesul izoterm și se calculează prin aria figurii $ABGF$.

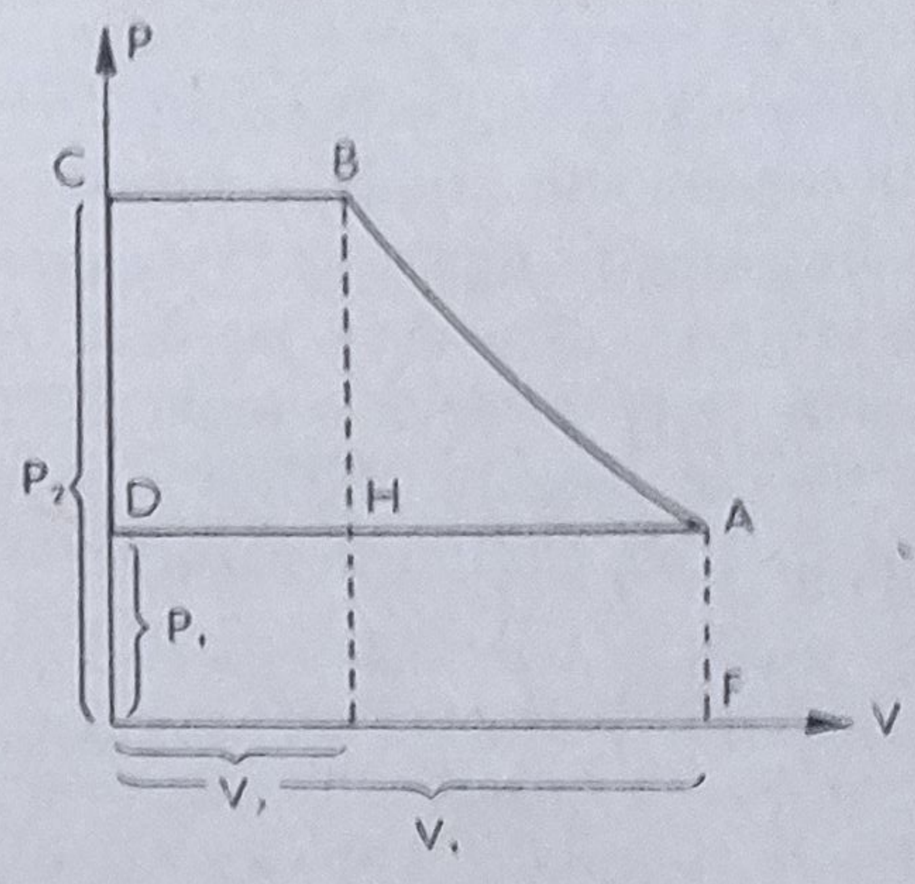


Fig. 12.19.

△ 12.20. Un compresor dă într-o oră 50 m^3 de aer comprimat la presiunea de $8 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$. Compresorul este răcit cu apă astfel încît procesul de comprimare se poate considera izoterm. a) Ce putere trebuie să aibă motorul dacă randamentul compresorului este 60 % ? b) Ce cantitate de apă de răcire este necesară pe oră dacă temperatura ei crește de la 11°C la 17°C ? Presiunea exterioară $p_0 = 10^5 \frac{N}{m^2}$.

□ 12.21. În figura 12.21 este reprezentată diagrama de funcționare a unui motor cu ardere internă. Considerînd că procesele 1—2 și 3—4 sînt adiabatice și știind că $\frac{V_1}{V_2} = 4$, iar raportul $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ pentru amestecul carburant este egal cu 1,3 să se calculeze randamentul teoretic al motorului.

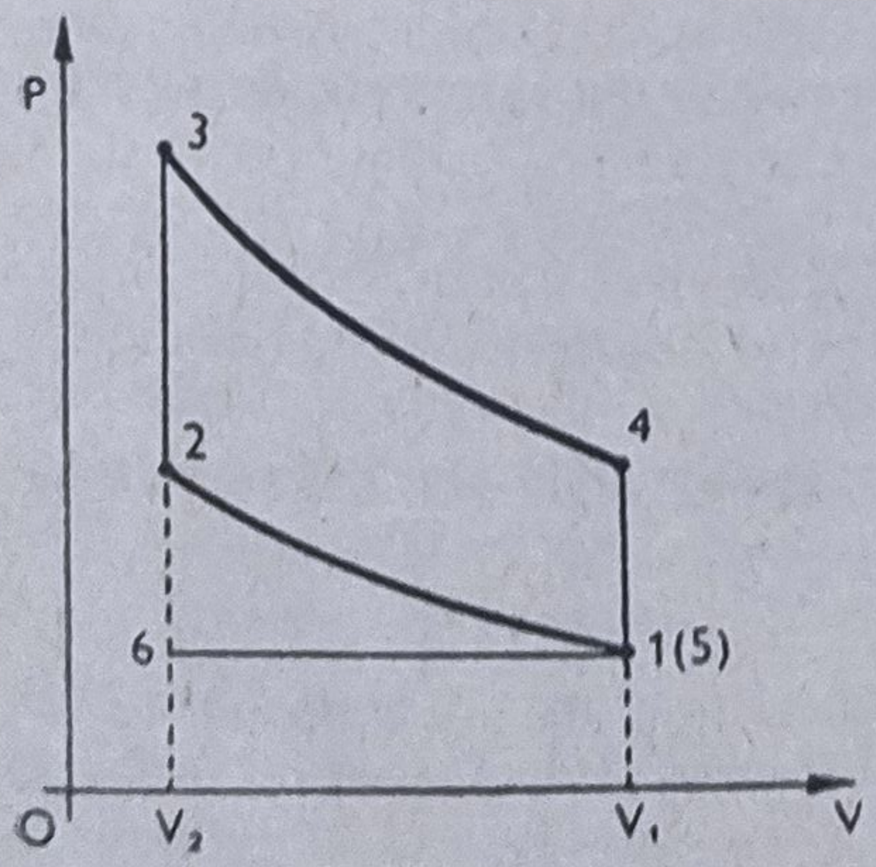


Fig. 12.21.

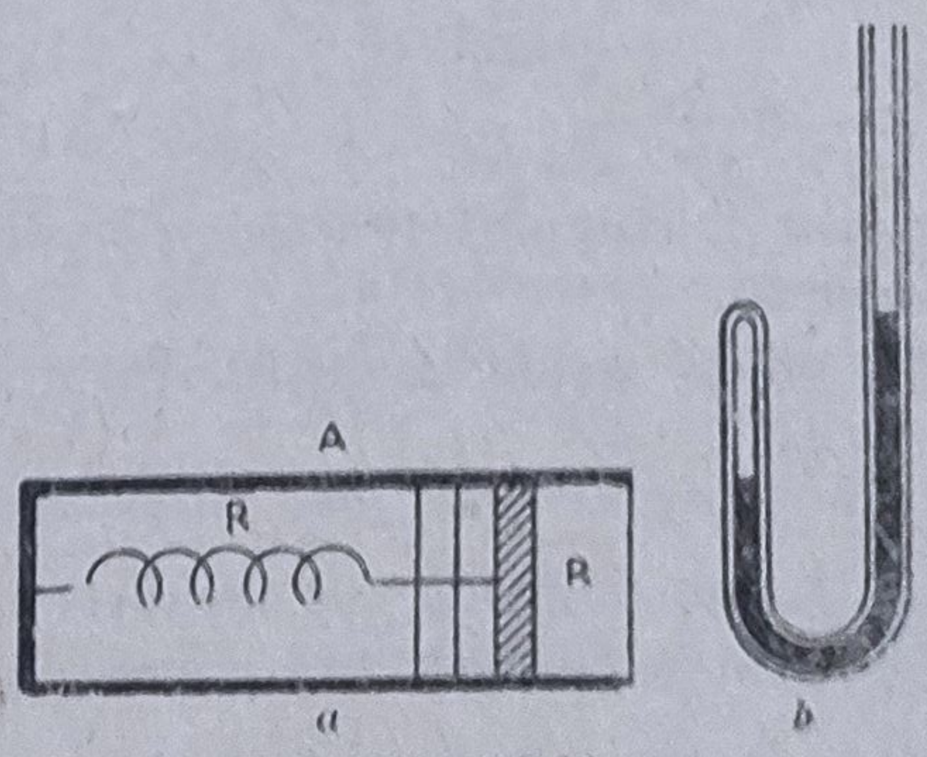


Fig. 12.22.

□ 12.22. a) Să se arate că un proces în care lucrul mecanic produs de un gaz este direct proporțional cu variația temperaturii gazului poate fi descris printr-o ecuație de forma $pV^n = \text{const.}$, unde n este o constantă (proces politropic). b) Să se arate că într-un proces politropic căldura specifică a

gazului nu depinde de temperatură. c) Să se precizeze care din procesele următoare sînt politropice:
1) Procesul care are loc la încălzirea cilindrului din problema 11.18; 2) Procesul care are loc la ridicarea temperaturii gazului din cilindrul *A* (figura 12.22, *a*); 3) Procesul care are loc la ridicarea temperaturii gazului din ramura din stînga a tubului din fig. 12.22,*b*; 4) În cazul aparatului reprezentat în figura 12.12 la care introducerea pistonului se face atît de încet încît, din cauza pierderii căldurii prin pereți, variația temperaturii gazului este de două ori mai mică decît la introducerea rapidă a pistonului la aceeași distanță. d) Cum se modifică, la creșterea temperaturii, căldurile specifice ale gazului în cazurile 1); 2); 3) și 4)?

§ 13. Teoria cinetică a gazelor

I. Viteza pătratică medie și viteza medie a moleculelor: $c = \sqrt{\frac{\Sigma v_i^2}{N}}$, $u = \frac{\Sigma v_i}{N}$, v_i este viteza moleculelor, N numărul lor.

II. Constanta lui Boltzmann: $k = \frac{R}{N}$. R este constanta gazelor, N este numărul lui Avogadro.

III. Presiunea gazelor $p = \frac{1}{3} nmc^2 = nkT$ (m — masa unei molecule, n — numărul de molecule din unitatea de volum).

IV. Viteza pătratică medie a moleculelor în funcție de temperatură

$$c = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$$

V. Legea lui Maxwell pentru distribuția moleculelor pe intervale de viteze:

$\Delta n = n \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{v^2}{\rho^3} e^{\frac{-v^2}{\rho^2}} \Delta v = nf(v) \Delta v$ unde $\rho = \sqrt{\frac{2R_1}{\mu}}$ este viteza corespunzătoare maximului funcției de distribuție f(v) numită viteza cea mai probabilă.

VI. Viteza medie la distribuția de viteze conform legii lui Maxwell $u = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$.

VII. Numărul de ciocniri ale unei molecule într-o secundă $z = \sqrt{2}\pi\sigma^2 nu$ (σ — diametrul moleculei).

VIII. Drumul liber mijlociu: $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n}$.

IX. Viscozitatea gazelor $\eta = 0{,}49\ \rho\lambda u$ (ρ — densitatea gazului).

X. Numărul de molecule care ciocnesc într-o secundă o unitate de suprafață $\nu = \frac{nu}{4}$.

○ 13.1. Într-un vas cu volumul de 230 cm³ se află un gaz la presiunea de 0,01 Torr și la temperatura de 7°C. Cîte molecule se află în vas?

△ 13.2. Densitatea unui amestec de azot și hidrogen la temperatura de 47°C și presiunea de 2 at este 0,3 $\frac{g}{l}$. Care este concentrația moleculelor de hidrogen în amestec?

△ 13.3. Într-un balon sferic de sticlă cu diametrul interior de 3 cm se află azot la temperatura de 190°C și presiunea 0,01 Torr. Pe pereții balonului se află un strat monomolecular de azot adsorbit. Aria ocupată de o moleculă de azot pe pereți este $1 \cdot 10^{-15}$ cm². Care este presiunea azotului la temperatura de 427°C la care azotul adsorbit se desprinde în întregime de pe pereți?

△ 13.4. Un vas conținînd o cantitate oarecare dintr-un gaz se mișcă cu viteza v și se oprește brusc. Cu cît se va mări media pătratelor vitezelor: a) în cazul unui gaz monoatomic?, b) în cazul unui gaz biatomic? Ce sens fizic are rezultatul obținut?

○ 13.5. Să se afle viteza pătratică medie a moleculelor a) de oxigen la 132°C, b) de heliu la 0,1 K.

○ 13.6. La ce temperatură viteza pătratică medie a moleculelor de bioxid de carbon este 720 $\frac{km}{h}$?

○ 13.7. Să se afle viteza pătratică medie a unei picături de apă cu raza de 10^{-6} cm, aflată în aer la temperatura de 17°C.

● 13.8. În figură este reprezentat graficul distribuției vitezelor conform legii lui Maxwell. Pe baza absciselor se reprezintă vitezele v ale moleculelor, pe axa ordonatelor se reprezintă mărimea $\frac{1}{n}\frac{\Delta n}{\Delta v}$ unde n este numărul de molecule ale căror viteze sînt cuprinse între v și $v+\Delta v$, iar n este numărul de molecule din volumul dat. a) Cum se poate arăta că viteza medie este mai mare ca viteza cea mai probabilă? b) Cu cine este egală aria delimitată de curbă și de axa absciselor? c) Cum trebuie schimbate abscisele și ordonatele graficului, corespunzătoare temperaturii T_1 spre a obține graficul corespunzător temperaturii T_2?

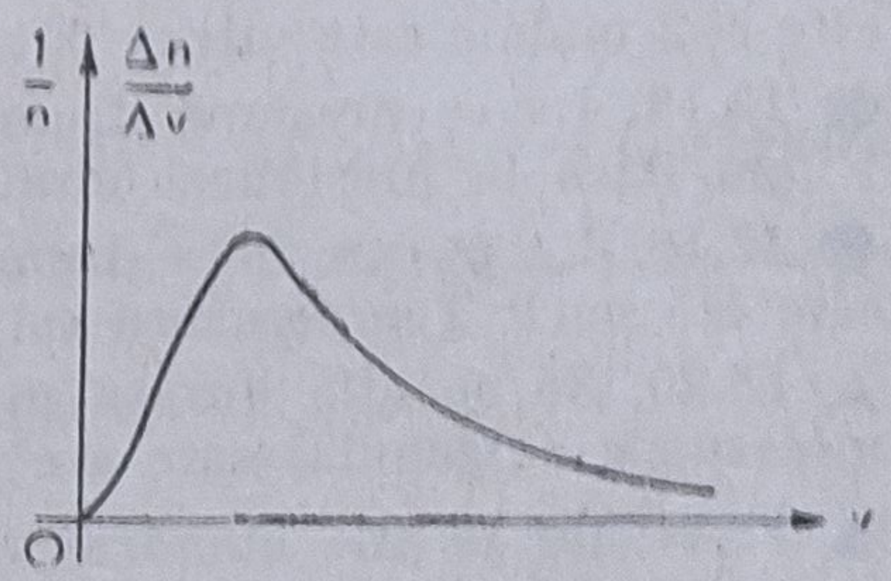


Fig. 13.8.

Să se traseze, aproximativ, graficul corespunzător unei temperaturi de 4 ori mai ridicată.

● 13.9. Să se calculeze vitezele medie și cea mai probabilă ale moleculelor oxigenului la temperatura de 132°C.

● 13.10. Cu cît este egală probabilitatea ca o moleculă oarecare să aibă viteza exact egală cu viteza cea mai probabilă?

▲ 13.11. În afara distribuției moleculelor după viteze (punctul V din introducere) se poate studia distribuția moleculelor pe intervale de energii sau după logaritmii vitezelor sau energiilor. a) Să se arate că maximul funcției

de distribuţie după energii corespunde vitezei $v_o = \frac{\rho}{\sqrt{2}}$. b) Să se arate că maximul funcţiei de distribuţie pe intervale ale logaritmilor vitezelor sau energiilor corespunde vitezelor pătratice medii.

▲ 13.12. a) Să se afle procentul de molecule care posedă viteze diferite cel mult cu 1 % de viteza cea mai probabilă. b) Aceeaşi întrebare relativ la viteza pătratică medie. c) De ce în cazul *b* se obţine un procent mult mai ridicat decît în cazul a) ?

▲ 13.13. Să se arate că numărul de molecule ale unei mase oarecare dintr-un gaz a căror viteză este mai mică decît viteza pătratică medie şi mai mare decît viteza medie este acelaşi la orice temperatură.

▲ 13.14. Cum se va modifica concentraţia moleculelor unui gaz biatomic a căror viteze diferă de viteza cea mai probabilă cu cel mult $1\frac{cm}{s}$ dacă volumul gazului se dublează printr-o destindere adiabatică ?

● 13.15. Să se afle numărul de molecule de azot dintr-un cm^3 în condiţii normale şi posedînd viteze : a) între $99\frac{m}{s}$ şi $101\frac{m}{s}$; b) între $499\frac{m}{s}$ şi $501\frac{m}{s}$.

▲ 13.16. La ce temperatură numărul de molecule de azot avînd viteze între $299\frac{m}{s}$ şi $301\frac{m}{s}$ este egal cu numărul de molecule avînd viteze între $599\frac{m}{s}$ şi $601\ m\frac{m}{s}$?

▲ 13.17. Să se arate că viteza pătratică medie relativă a două molecule este $c\sqrt{2}$ unde c este viteza pătratică medie în raport cu pereţii vasului.

● 13.18. La ce presiune drumul liber mijlociu al moleculelor de azot este 1 mm dacă la presiunea normală el este $6 \cdot 10^{-6}$ cm ?

● 13.19. La ce presiune drumul liber mijlociu al moleculelor de hidrogen este 2,5 cm ? Temperatura este 68°C.

▲ 13.20. Să se afle durata medie de parcurgere a drumului liber pentru moleculele oxigenului care are presiunea 2 Torr şi temperatura 27°C.

▲ 13.21. Să se afle numărul tuturor ciocnirilor dintre moleculele unui cm^3 de azot aflat în condiţii normale, în timp de 1 secundă.

▲ 13.22. Drumul liber mijlociu al moleculelor azotului aflat în condiţii normale este $6 \cdot 10^{-3}$ cm. O masă de azot trece din stare normală în altă stare în care temperatura $T = 300$°C. Cît este lungimea drumului liber în noua stare dacă trecerea s-a făcut printr-un proces : a) izocor ; b) izobar ; c) adiabatic ?

▲ 13.23. Cum se modifică viscozitatea unui gaz biatomic la micşorarea de două ori a volumului printr-un proces : a) izoterm ; b) izobar ; c) adiabatic ?

▲ 13.24. Cunoscînd viscozitatea oxigenului (tabela IX) să se afle drumul liber mijlociu al moleculelor în condiţii normale.

▲ 13.25. Viscozitatea unui gaz se determină prin metoda măsurării forţei de frecare între două plăci separate între ele printr-un strat de gaz cu grosimea de 0,9 mm. La presiunea $2,8\frac{N}{m^2}$ viscozitatea gazului a fost $0,80 \cdot 10^{-5}\frac{Ns}{m^2}$,

iar la presiunile 10,9 $\frac{N}{m^2}$ și 16,0 $\frac{N}{m^2}$ viscozitatea a fost de $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ $\frac{Ns}{m^2}$. Care este, aproximativ, drumul liber mijlociu al moleculelor acestui gaz la presiune normală ?

● 13.26. Cîte molecule lovesc într-o secundă un cm^2 din peretele unui vas, în care se află oxigen la presiunea de 750 Torr și temperatura de 20°C ?

▲ 13.27. Cum se va modifica numărul de ciocniri pe 1 cm^2 din peretele unui vas într-o secundă pentru un gaz biatomic care se va destinde adiabatic mărindu-și volumul de $n = 2$ ori ?

▲ 13.28. Presupunînd că fiecare moleculă, de oxigen care atinge suprafața unui fir metalic este adsorbită să se afle cît timp este necesar pentru acoperirea firului cu un strat monomolecular de oxigen dacă presiunea lui este $1 \cdot 10^{-5}$ Torr, iar temperatura $t = 27°C$. Fiecare moleculă ocupă pe suprafața firului o arie $S = 9 \cdot 10^{-16}$ cm^2.

§ 14. Gaze reale. Starea critică

I. Ecuația Van der Waals $\left(p + \frac{a}{V_\mu^2}\right)(V_\mu - b) = RT$ (p — presiunea V_μ—volumul kilomolar, a, b constantele lui Van der Waals) (vezi tabelul XV). Dacă gazul nu este condensat și are loc relația $V\mu \gg b$, ecuația capătă forma $pV_\mu = RT + \frac{RTb - a}{V_\mu}$.

II. Relațiile între constantele lui Van der Waals și parametrii stării critice (V_C — volumul critic al unui kmol de gaz) : $R = \frac{8p_cV_C}{3TC}$; $a = 3p_cV_c^2$; $b = \frac{V_c}{3}$.

● 14.1. Ce sens fizic are expresia $\left(p + \frac{a}{V_\mu^2}\right)$?

● 14.2. 1 kmol de argon are la 300 K volumul de 1 m^3. Să se calculeze presiunea argonului : a) considerînd că el posedă însușirile gazului ideal ; b) introducînd corecția Van der Waals pentru presiune dar neglijînd pe cea de volum ; c) introducînd corecția de volum și neglijînd corecția de presiune ; d) introducînd ambele corecții.

● 14.3. Să se calculeze cu ajutorul ecuației Van der Waals presiunea unei mase $m = 1{,}1$ kg bioxid de carbon închise într-un balon cu volumul $V = 20$ l la temperatura $t = 13°C$. Să se compare rezultatul cu cel relativ la gazul ideal aflat în aceleași condiții.

● 14.4. Să se calculeze la ce temperatură presiunea oxigenului cu densitatea 100 $\frac{g}{l}$ este 70 at. Să se compare cu gazul ideal.

▲ 14.5. Într-un balon cu $V = 20$ l se află 80 mol dintr-un gaz. La 14°C presiunea gazului este 90 at. La 63°C presiunea este 109 at. Să se calculeze constantele Van der Waals pentru gazul respectiv.

▲ 14.6. Să se studieze, cu ajutorul ecuației Van der Waals procesele izoterme în gaze cu o asemenea densitate încît condiția $V_\mu \gg b$ este satisfăcută. a) la ce temperatură gazul este mai comprimat și la ce temperatură este mai puțin comprimat decît gazul ideal? b) la ce temperatură procesele izoterme decurg la fel ca în cazul gazului ideal? Să se găsească aceste temperaturi pentru bioxidul de carbon și pentru hidrogen.

▲ 14.7. Un gaz se destinde la temperatură constantă (27°C) volumul unui mol crescînd de la 1,5 l la 15 l. Cu condiția $V_\mu \gg b$, să se afle lucrul mecanic necesar pentru destinderea gazului. Să se aplice rezultatul obținut: a) la azot; b) la hidrogen.

■ 14.8. În experiența Joule-Thomson se măsoară variația temperaturii unui gaz care curge în condiții de izolare termică și suferă o cădere apreciabilă de presiune, de exemplu printr-un tampon de vată (vezi figura 14.8). Se demonstrează că în asemenea condiții, are loc relația $p_1V_1 + U_1 = p_2V_2 + U_2$ unde U este energia internă a gazului. a) Să se arate că temperatura gazului ideal nu variază în experiența de mai sus: b) să se calculeze cu aproximație pe baza ecuației Van der Waals variația temperaturii: 1) bioxidului de carbon; 2) hidrogenului. Se dau $p_1 = 2a\,t$, $p_2 = 1$ *at*, $t_1 = 17$°C. Este satisfăcută condiția $V_\mu \gg b$ iar variația energiei interne este mică. (Se modifică numai raportul dintre energia cinetică de agitație termică și energia potențială de interacțiune moleculară.)

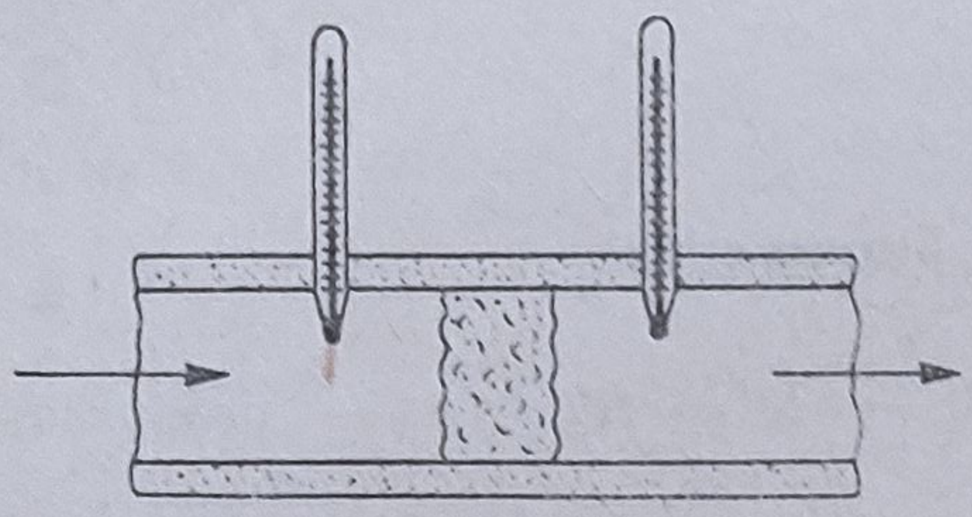


Fig. 14.8.

● 14.9. Să se afle densitatea critică a apei.

● 14.10. Să se afle presiunea și temperatura critică a argonului.

▲ 14.11. Să se calculeze constantele a și b din ecuația Van der Waals pentru bioxidul de carbon cunoscînd presiunea critică $p_c = 73$ at și temperatura critică $t_c = 31{,}1$°C.

■ 14.12. Pentru demonstrarea stării critice se folosește aparatul fizicianului rus Avenarius (vezi figura 14.12), în care se încălzește un tub închis care conține eter etilic. a) Ce fracțiune din volumul tubului trebuie să ocupe eterul la 20°C dacă dorim ca la temperatura critică tot volumul tubului să conțină eter în stare critică?
Masa molară a eterului este 74 $g \times mol^{-1}$. Temperatura și presiunea critică sînt 193,8°C și 35,6 at. b) Ce se va întîmpla, prin creșterea temperaturii, dacă volumul tubului este mai mare sau mai mic decît volumul critic la eterului din tub? c) Să se traseze graficul $p = f(t)$ pentru cazurile în care volumul tubulu este egal, mai mare sau mai mic decît volumul critic al eterului din tub. Pentru simplificare se admite că la temperaturi superioare celei critice eterul are proprietățile gazului ideal.

Fig. 14.12.

■ 14.13. Într-un vas închis conținînd o cantitate dintr-un anumit lichid se menține o presiune constantă (vezi figura 14.13). Temperatura se mărește progresiv de la valori mai mici, pînă la valori mai mari decît temperatura critică. Să se traseze graficul dependenței volumului substanței de temperatură pentru următoarele cazuri: a) presiunea este p_c (presiunea critică); b) $p > p_C$; c) $p < p_C$. Pentru simplificare se admite că la $t > t_C$ substanța are proprietățile gazului ideal.

▲ 14.14. În apropiere de starea critică căldura specifică la presiune constantă crește foarte mult. Cum se explică acest fenomen?

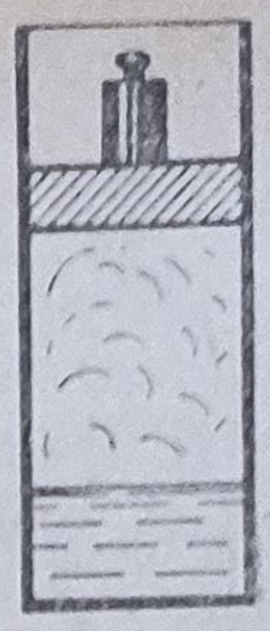


Fig. 14.13.

§ 15. Forțe moleculare în lichide

I. Între două medii lichide (sau între unul lichid și unul gazos) separate printr-o suprafață curbă, avînd razele principale de curbură R_1 și R_2 se realizează echilibrul pentru o diferență de presiune $\Delta p = \sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ (σ — coeficientul de tensiune superficială).

II. Lucrul mecanic necesar pentru mărirea suprafeței unui lichid la temperatură constantă $L = \sigma \Delta S$.

III. Înălțimea coloanei de lichid în tuburile capilare: $h = \frac{2\sigma \cos 0}{r\rho g}$ (pentru $h \gg r$).

IV. Unghiul de racordare θ pentru lichidele aderente se presupune, în toate problemele, egal cu zero. Unghiul de racordare al mercurului este 138°.

V. În toate problemele (cu excepția problemei 15.1) se presupune că temperatura este 20°C.

○ 15.1. Care este densitatea apei într-o picătură cu raza de 10^{-6} cm la $t = 4°C$?

△ 15.2. Dintr-un robinet curge un jet vertical de apă. Diametrul jetului se micșorează de la 3 mm la 2 mm pe o distanță de 3 cm (vezi figura 15.2). Ce volum de apă curge într-o secundă? Indicație pentru calculul diferenței de presiune a apei și aerului, la un anumit nivel, se va considera jetul ca având formă cilindrică.

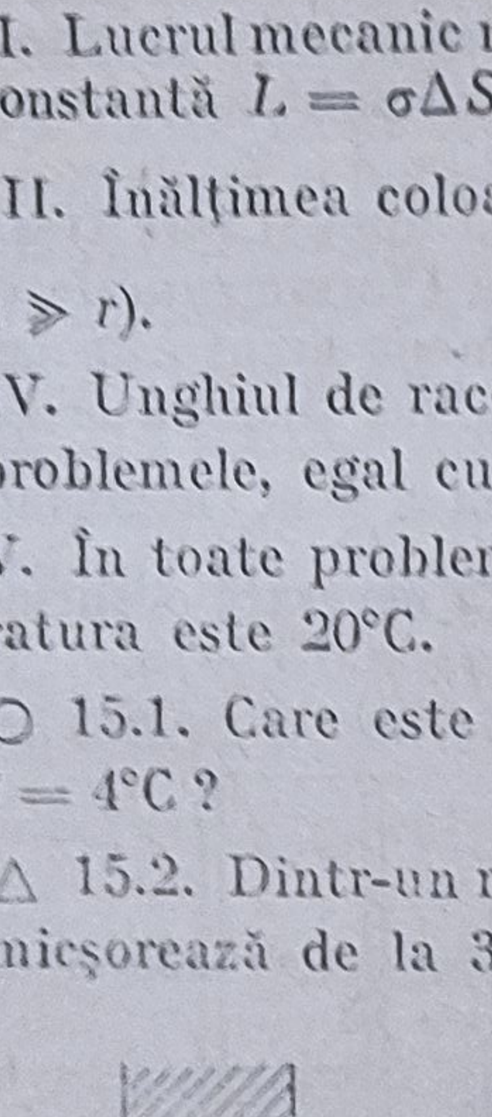


Fig. 15.2.

△ 15.3. a) Ce lucru mecanic trebuie efectuat pentru a sufla un balon de săpun cu diametrul $d = 14$ cm, procesul fiind izoterm? b) Cu cît este egală presiunea suplimentară din interiorul acestui balon?

△ 15.4. Tensiunea superficială la suprafața de contact apă — ulei este $\sigma = 18 \frac{\text{erg}}{\text{cm}}$ (1 erg $= 10^{-7}$ Joule). Ce lucru mecanic este necesar pentru a transforma, în interiorul apei, o picătură de ulei cu masa $m = 1$ g în picături cu diametrul $d = 2 \cdot 10^{-4}$ cm? Procesul este izoterm. Densitatea uleiului este $\rho = 0{,}9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

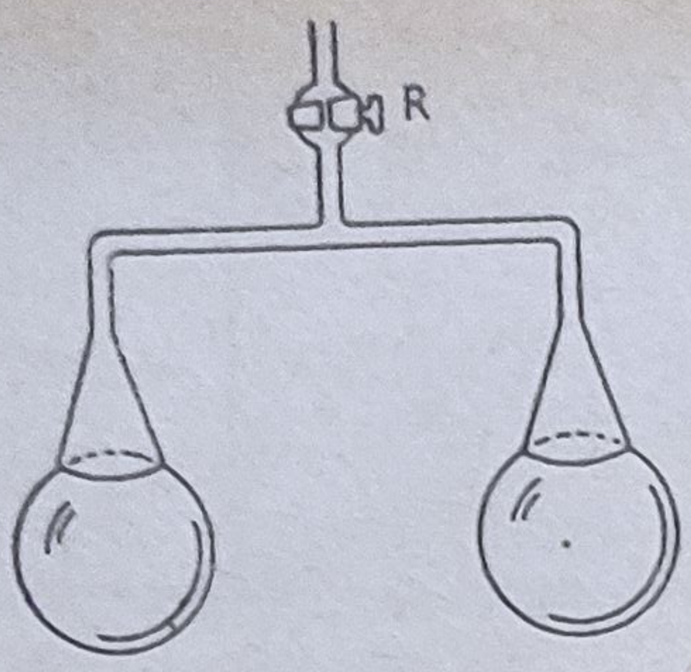


Fig. 15.5.

□ 15.5. Prin două pîlnii identice se suflă două baloane de săpun (vezi figura 15.5). Robinetul R este închis. a) Să se arate că, dacă fiecare din baloane are formă semisferică sau de calotă mai mică decît semisfera, echilibrul baloanelor este stabil, iar în caz contrar nestabil. b) Fie $d_1=4$ cm diametrul pîlniilor și $d_2 = 5$ cm diametrele a două baloane de săpun. Aerul dintr-un balon se scurge în celălalt pînă cînd razele lor de curbură se egalează. Considerînd că densitatea aerului nu se modifică la trecerea dintr-un balon în celălalt să se calculeze diametrul balonului mai mare. Observație: Volumul unui segment sferic se calculează prin formula: $V = \frac{\pi}{24}[2\,d^3 \pm \sqrt{d^2 - a^2}(2\,d^2 + a^2)]$ (d — diametrul sferei; a — diametrul bazei segmentului sferic. Semnul „+“ se ia pentru cazul cînd centrul sferei se află în interiorul segmentului, semnul „—“ în caz contrar).

△ 15.6. O picătură de apă cade uniform în aer. Care este diferența razelor de curbură în punctele de jos și de sus ale picăturii, aflate la distanța $d = 2$mm?

○ 15.7. O sită metalică, ale cărei sîrme sînt unse cu un strat subțire de parafină, ține apa. De ce? Dacă atingem cu degetul sita pe dedesubt apa curge. De ce?

△ 15.8. O placă circulară de sticlă se așază pe suprafața apei și este trasă în sus cu ajutorul resortului A (vezi figura 15.8). a) Desenați forma suprafeței apei pentru cîteva poziții succesive ale plăcii. În ce moment arcul este cel mai mult întins? Ce se întîmplă dacă placa este trasă în sus și după acest moment? b) Luînd, pentru simplificare, $R = \frac{h}{2}$ la înălțimea $\frac{h}{2}$ și neglijînd a doua rază de curbură a suprafeței apei să se calculeze forța necesară desprinderii plăcii dacă aria ei este $S = 20$ cm².

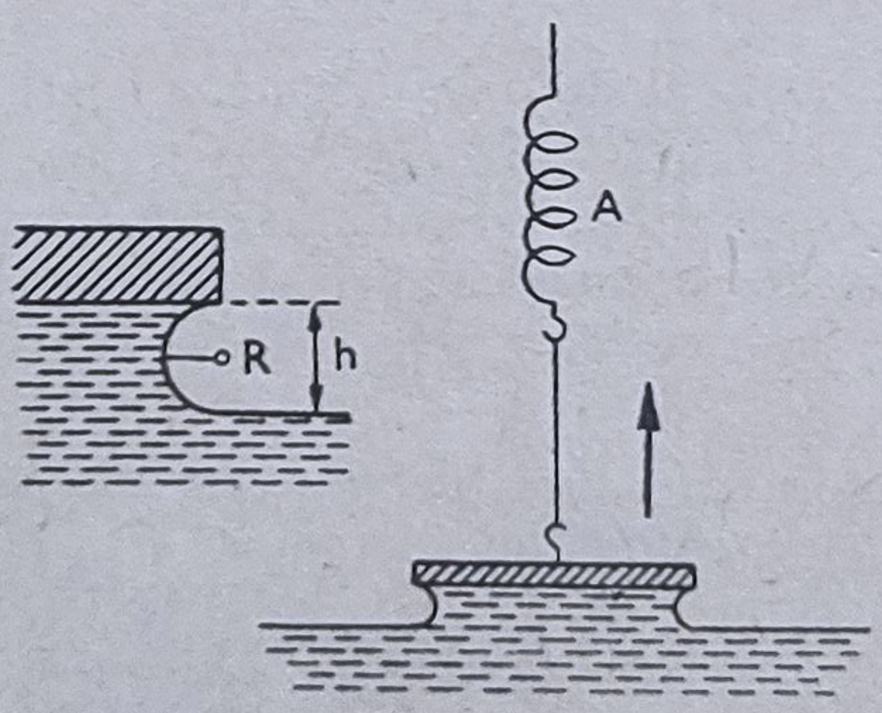


Fig. 15.8.

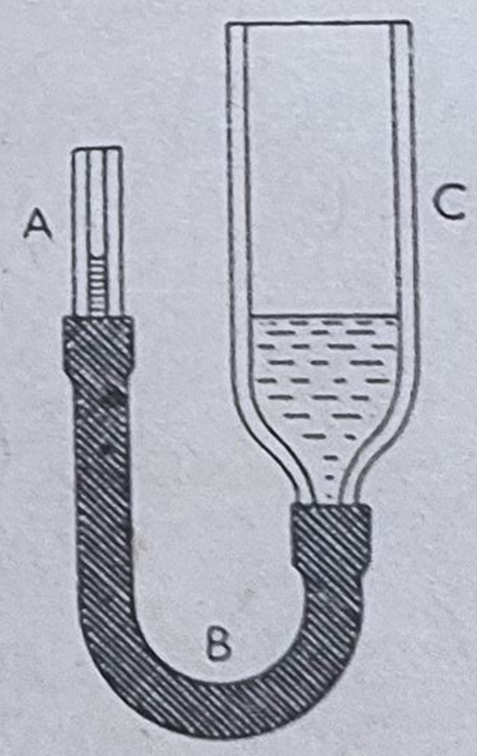


Fig. 15.9.

△ 15.9. Un tub capilar A este legat printr-un furtun de cauciuc B de un tub larg C. Tubul C se ridică încet, iar lichidul din A ajunge la extremitatea tubului și apoi se varsă (vezi figura). a) Desenați cîteva poziții succesive ale nivelului lichidului în tubul A, la ridicarea tubului C (în cazurile lichidelor aderente și neaderente). În ce moment diferența nivelelor lichidului din A și C va fi maximă?

b) Care este diferența maximă de nivel a apei în tuburile A și C dacă diametrul exterior al tubului A este 0,7 mm ? c) Aceeași întrebare dacă în tuburi se găsește mercur știind că diametrul interior al tubului capilar este de 0,55 mm.

△ 15.10. Printr-un capilar de sticlă introdus într-un lichid, se suflă aer. a) Desenați cîteva poziții succesive ale nivelului lichidului și ale formării bulei de aer (în cazul lichidelor aderente și neaderente). În ce moment presiunea în tubul capilar este maximă ? b) Să se calculeze diferența dintre presiunea maximă din capilar și presiunea atmosferică dacă diametrul interior al capilarului este $d_1 = 0{,}8$ mm, lichidul este terebentina (aderent), iar tubul este scufundat la adîncimea $h_1 = 5$ cm. c) Aceeași întrebare pentru mercur. Diametrul exterior al capilarului este $d_2 = 1{,}2$ mm. Tubul este scufundat în mercur la adîncimea $h_2 = 2$ cm.

○ 15.11. Să se afle greutatea P a alcoolului care se ridică într-un capilar cu diametrul interior $d = 0{,}5$ mm.

○ 15.12. Un vas de sticlă are forma din figura 15.12. Fiecare umflătură are lungimea de 10 cm, iar porțiunile cele mai înguste au raza interioară de 0,1 mm. Vasul este introdus, în poziție verticală, în apă și apoi este ridicat foarte încet. Cum va varia nivelul apei din vas ?

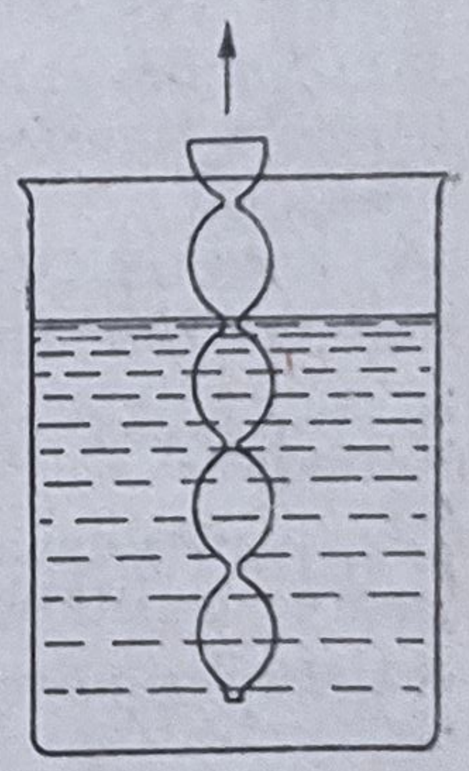


Fig. 15.12.

○ 15.13. Două tuburi de sticlă cu diametrele interioare de 0,2 mm și 0,3 mm pline cu apă comunică printr-un tub de cauciuc. Care este condiția ca nivelul apei să fie același în ambele tuburi ?

□ 15.14. Într-un capilar de sticlă cu diametrul interior $d_1 = 2$ mm se află la mijloc o vergea de sticlă cu diametrul $d_2 = 1{,}5$ mm. La ce înălțime se ridică apa în spațiul liber rămas ?

○ 15.15. Cînd un lichid se ridică într-un tub capilar la înălțimea h, forțele de tensiune superficială $F = 2\pi r\sigma$ efectuează lucrul mecanic $Fh = \frac{4\pi\sigma^2}{\rho g}$. Energia potențială a coloanei de lichid din tub este $\pi r^2 h\rho g\ \frac{h}{2} = \frac{2\pi\sigma^2}{\rho g}$ deci creșterea energiei potențiale este egală cu jumătate din lucrul forțelor de tensiune superficială. Pentru ce s-a cheltuit cealaltă jumătate ?

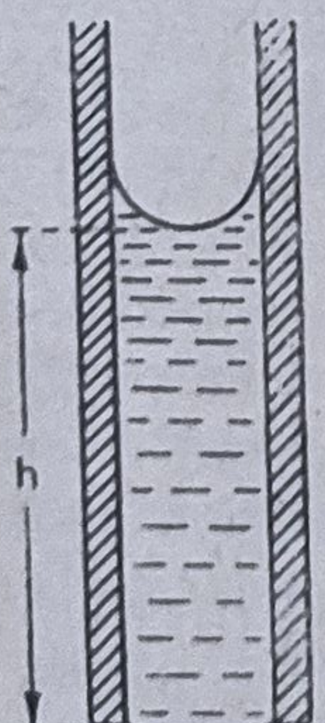


Fig. 15.16.

□ 15.16. Într-un tub capilar orizontal cu diametrele exterior și interior de 2,5 mm și 0,3 mm se află o coloană de apă. Tubul se aduce în poziție verticală în care, dedesubtul tubului apare o picătură de forma unui segment sferic cu diametrul de 3 mm (vezi figura 15.16). Care este lungimea coloanei de apă în poziție orizontală ? (vezi observația de la problema 15.5).

○ 15.17. Un tub capilar de sticlă cu diametrul interior $d = 0{,}2$ mm și lungimea $h_0 = 20$ cm, închis în partea de sus, se introduce în apă. La ce adîncime x trebuie introdus tubul în apă pentru ca nivelul apei în capilar să fie același cu nivelul apei din vasul larg ? Presiunea aerului este 750 torr.

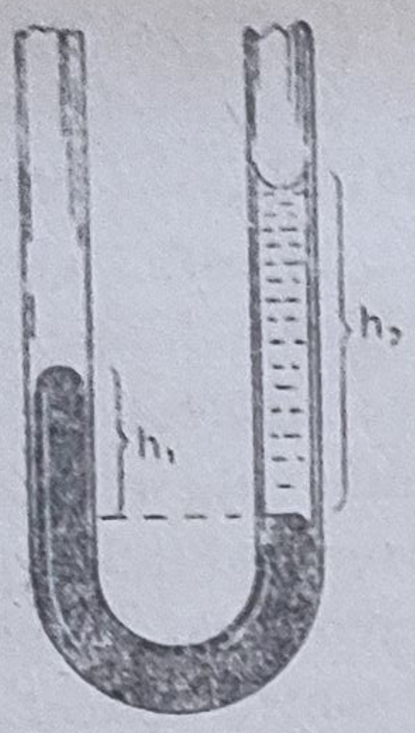


Fig. 15.19.

△ 15.18. a) Un tub capilar de sticlă cu diametrul interior 1,5 mm și lungimea 20 cm se introduce în poziție orizontală în mercur, închizîndu-se astfel în tub coloana inițială de aer aflat la presiune normală. Tubul se scufundă la adîncimea de 10 cm. Care va fi lungimea l_1 a coloanei de aer din tub? b) Aceeași întrebare dacă tubul este scufundat la 0,5 cm adîncime.

△ 15.19. Într-un tub capilar în formă de U se toarnă două lichide nemiscibile (de exemplu apă și mercur). Rămîne valabilă în acest caz relația $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$? (Vezi figura 15.19.)

§ 16. Proprietățile vaporilor. Umiditatea

I. Vezi tabelele XVII și XVIII.

II. În calculul presiunii și densității vaporilor saturanți, pentru densități mici se va aplica ecuația Clapeyron—Mendeleev, iar pentru densitățile mari ecuația Van der Waals.

III. Numim cantitate totală de căldură de vaporizare cantitatea de căldură necesară transformării unei mase de 1 kg apă la 0°C în vapori la temperatura dată.

IV. Căldura latentă specifică de vaporizare $r = p(v_1 - v_2)$ unde v_1 și v_2 sînt volumele specifice ale vaporilor și lichidului.

V. Presiunea vaporilor la suprafața sferică a unui lichid $p = p_0 + \frac{2\rho_1\sigma}{\rho_2 r}$ (p_0 — presiunea vaporilor la suprafață plană, σ — tensiunea superficială, ρ_1 și ρ_2 densitățile vaporilor și lichidului, r raza sferei).

VI. În rezolvarea problemelor din acest paragraf căldura specifică a apei se va lua 4 185 $\frac{J}{kg\,K}$ iar volumul specific se va lua 1 $\frac{cm^3}{g}$ neglijînd micile variații cu temperatura.

○ 16.1. Cea mai mare parte a suprafeței pămîntului este ocupată de apă. De ce, totuși, atmosfera nu este saturată cu vapori?

○ 16.2. Ce diametru interior trebuie să aibă conducta de vapori de la cazan la motor, dacă prin conductă trebuie să treacă într-o oră o masă de 400 kg vapori la presiunea de 10 at. și temperatura de 200°C, dacă viteza vaporilor nu poate depăși 40 $\frac{m}{s}$?

△ 16.3. Manometrul din problema 11.4 este legat la un rezervor care conține o cantitate mică de aer și vapori saturanți de mercur. Care este presiunea în rezervor în condițiile problemei 11.4 dacă citirea manometrului s-a făcut la 20°C căreia îi corespunde o presiune de vapori saturanți ai mercurului de 0,0013 Torr?

○ 16.4. Într-o cameră cu volumul 120 m^3 și temperatura de 15°C umiditatea relativă este 60%. Care este masa vaporilor de apă din cameră?

○ 16.5. Care este densitatea aerului la 29°C și presiune normală dacă umiditatea relativă este 70% ?

△ 16.6. Într-un vas închis cu volumul de 2 l se află un gram de apă și aer. La temperatura de 14°C presiunea în vas este 760 torr. Care va fi presiunea la temperaturile: a) 93°C ? b) 100°C ? Se va neglija variația volumului aerului din cauza vaporizării apei.

△ 16.7. Rezervorul unui termometru cu gaz (vezi figura 16.7) este plin cu aer. Presiunea în rezervor la 0°C este 757 torr, iar după introducerea lui în vasul cu apă presiunea devine 840 torr. Să se calculeze temperatura apei: a) presupunînd că aerul este uscat; b) presupunînd că la 15°C umiditatea relativă este 60%.

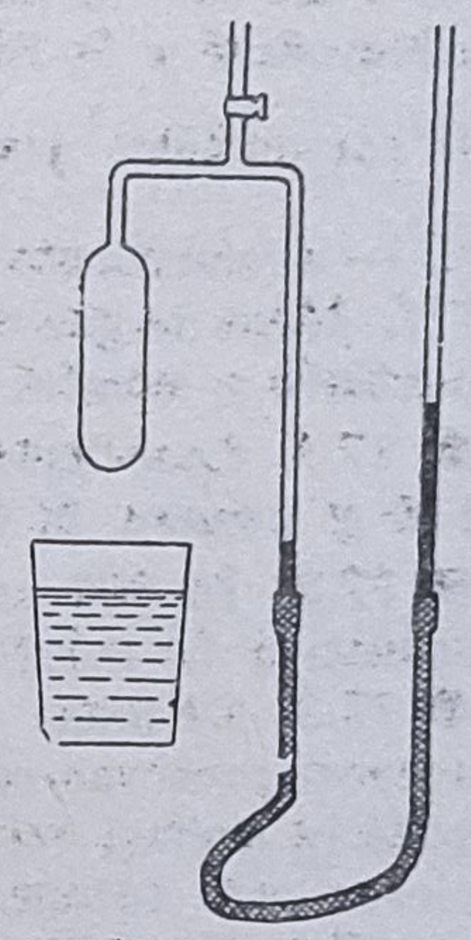


Fig. 16.7.

△ 16.8. Într-un vas metalic închis, cu pereții rezistenți, avînd volumul 1 000 cm^3 se află un gram de apă și vapori: a) Care sînt cantitățile de vapori și de apă din vas la temperatura de 17,2°C ? b) La ce temperatură vasul va fi plin numai cu vapori saturanți ? c) Ce cantitate de căldură este necesară pentru încălzirea apei și vaporilor de la 17,2°C pînă la temperatura aflată ?

△ 16.9. Într-un vas închis cu volumul 6 l, conținînd vapori saturanți la presiunea de 2 at, se pulverizează o cantitate de apă la 10°C. Presiunea vaporilor în vas scade la 1 at. Ce cantitate de apă s-a introdus în vas ?

○ 16.10. Să se calculeze căldura latentă specifică de vaporizare a apei la presiunile: a) 0,02 at și b) 10 at.

○ 16.11. Să se afle variația energiei interne la transformarea în vapori a 4 g alcool, prin fierbere la presiune normală (78°C). Volumul specific al vaporilor de alcool este 607 $\frac{cm^3}{g}$. Căldura de vaporizare a alcoolului este $8{,}62 \cdot 10^5 \frac{J}{kg}$.

△ 16.12. La adîncimea de 35 cm în apă se află o bulă de aer cu diametrul 0,1 mm. Presiunea atmosferică este 750 torr. Temperatura apei este 21°C. Care este presiunea aerului din interiorul bulei ?

▲ 16.13. În absența bulelor de aer în interiorul unui lichid, el poate fi încălzit cu puțin deasupra punctului de fierbere. Presupunem că, la presiunea atmosferică normală, apa a fost încălzită pînă la 105°C. Adîncimea apei este 20 cm. Să se calculeze diametrul unei bule cu vapori lîngă fundul vasului astfel încît presiunea vaporilor în interiorul bulei și presiunea lichidului să se echilibreze. Echilibrul este stabil ?

● 16.14. Care este presiunea vaporilor de apă în jurul unei picături de apă cu raza de $5 \cdot 10^{-6}$ cm la temperatura de 10°C ?

▲ 16.15. Într-un m^3 de aer care se răcește se află 8,3 g vapori de apă. a) La ce temperatură apare condensarea dacă nucleele de condensare sînt particule de praf de formă sferică cu diametrul de 10^{-5} cm ? d) La ce temperatură apare condensarea într-un material poros umezit cu apă dacă diametrul canalelor din material este 10^{-5} cm ?

▲ 16.16. Dacă fracțiunea $\gamma = 0{,}036$ din moleculele vaporilor de apă care ating suprafața apei sînt reținuți, să se afle masa moleculelor care se desprind într-o secundă de pe un cm^2 din suprafața apei. Vaporii sînt saturanți iar temperatura este 100°C.

§ 17. Proprietăţile soluţiilor

I. a) Presiunea osmotică a m kg de substanţă, de masă kilomolară dispersată în volumul V în soluţie: $\prod = \frac{mRT}{\mu V}$ pentru substanţe nedisociabile. b) $\prod = [1 + \alpha(k-1)]\frac{mRT}{\mu V}$ pentru substanţe disociabile (α — gradul de disociere, k — numărul de ioni care apar prin disocierea unei molecule).

II. Punctul de fierbere al unei soluţii conţinînd 1 g de substanţă cu masa kilomolară μ în 100 cm³ de solvent este mai ridicat decît punctul de fierbere al solventului pur cu $\theta = \frac{C}{\mu}$.

(C — o constantă pentru solventul respectiv, pentru medii nedisociabile).

III. Masa de gaz dizolvată într-un lichid este direct proporţională cu presiunea parţială a acestui gaz deasupra lichidului.

● 17.1. Care este presiunea osmotică a 8 g naftalină (C_{10} Hg) dizolvată în 110 g benzen la temperatura de 27°C? (naftalina dizolvată nu disociază).

● 17.2. În 500 cm³ de apă sînt dizolvate 1,5 g NaCl. Care este presiunea osmotică în soluţie la 0°C dacă NaCl s-a disociat în întregime?

● 17.3. Ce masă m_1 de NaCl trebuie dizolvată în 100 cm³ apă spre a obţine aceeaşi presiune osmotică în soluţie ca la dizolvarea a $m_2 = 0{,}4$ g $CuCl_2$ dizolvată în acelaşi volum de apă şi la aceeaşi temperatură? În ambele cazuri disocierea este totală.

▲ 17.4. Un tub cilindric A (vezi figura) cu secţiunea de 2 cm² conţine o soluţie de zahăr ($C_{12}H_{22}O_{11}$). La baza tubului se află o membrană C care permite trecerea apei dar nu permite trecerea zahărului. Tubul A se introduce în vasul cu apă B, iar membrana C se află la adîncimea $h_1 = 3$ cm faţă de nivelul apei în vasul B. La echilibru nivelul soluţiei în tubul A este cu $h = 10$ cm mai sus decît nivelul apei în vasul B. Temperatura este 13°C. Densitatea soluţiei diferă puţin de a apei. Cît zahăr este dizolvat în tubul A?

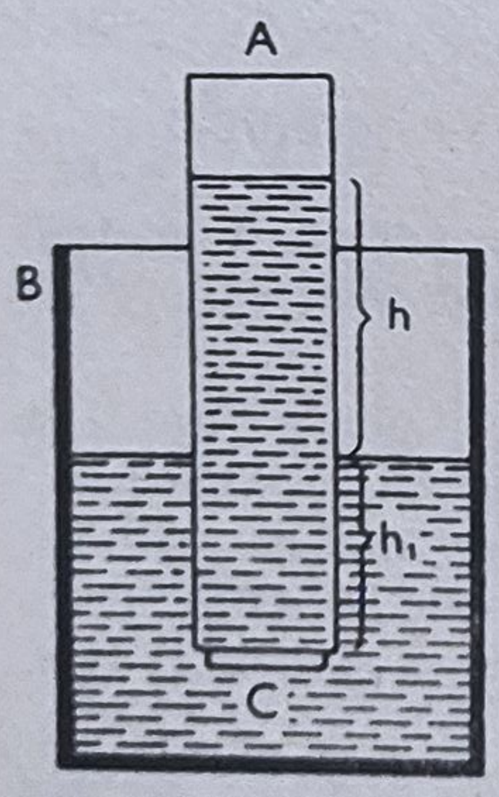


Fig. 17.4.

● 17.5. Presupunem că vasul B şi tubul A din problema precedentă se află într-un spaţiu care conţine vaporii solventului. Să se arate că presiunea vaporilor deasupra soluţiei slabe este mai mică decît presiunea deasupra solventului pur cu mărimea $\Delta p = \Pi \frac{\rho_1}{\rho_2} = \rho \frac{n_s}{n_d}$ (p_1—densitatea medie a vaporilor între nivelele din tub şi din vas, ρ_2 — densitatea soluţiei, p — presiunea vaporilor deasupra dizolvantului pur, n_s — concentraţia moleculelor substanţei dizolvate, n_d — concentraţia moleculelor solventului).

▲ 17.6. În 500 cm³ de apă se dizolvă 15 g zahăr. Care este presiunea vaporilor deasupra soluţiei dacă temperatura soluţiei este 100°C? Densitatea soluţiei este 1 $\frac{g}{cm^3}$.

● 17.7. La presiunea atmosferică normală soluţia de NaCl în apă fierbe la o temperatură mai mare de 100°C. Care este temperatura vaporilor de deasupra soluţiei?

▲ 17.8. a) Punctul de fierbere al apei, în apropiere de 100°C crește cu 0,11°C prin creșterea presiunii cu 3 torr. Să se afle constanta C pentru apă. b) Care este masa molară a unei substanțe dacă o soluție de 10 g din această substanță în 100 cm^3 de apă fierbe la o temperatură cu 0,18 °C mai mare decît temperatura de fierbere a apei pure? Substanța nu disociază prin dizolvare.

▲ 17.9. Cu cît este mai ridicat punctul de fierbere al unei soluții de 1,5 g NaCl în 200 cm^3 apă decît al apei pure? NaCl disociază în întregime.

● 17.10. La 20°C 1 l de apă absoarbe 28 cm^3 oxigen. Care este densitatea oxigenului în apă, în contact cu aerul atmosferic la presiune normală? Greutatea oxigenului reprezintă 23% din greutatea aerului.

▲ 17.11. Un balon este pe jumătate plin cu apă, din care aerul a fost eliminat prin fierbere și pe jumătate, cu azot la presiunea de 60 Torr. Ce presiune se va obține la echilibru în balon? Temperatura este constantă și egală cu 20°C. La această temperatură 1 l de apă absoarbe 14 cm^3 de azot.

§ 18. Principiul al doilea al termodinamicii

I. Variația entropiei unei substanțe de masă m, cu căldura specifică c la încălzirea între temperaturile T_1 și T_2: $\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$.

II. Variația entropiei la schimbarea stării de agregare $\Delta S = \frac{\lambda}{T} m$, $\Delta S = \frac{r}{T} m$, unde λ și r sînt căldurile latente specifice de topire, respectiv de vaporizare.

III. Variația entropiei gazelor ideale: $\Delta S = m\left(c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{V_2}{V_1}\right)$.

IV. Ecuația Gibbs-Helmholtz $F = U + T\frac{dF}{dt}$ unde F este energia liberă, iar U energia internă.

V. Legătura dintre variația presiunii p și a temperaturii T la trecerea dintr-o stare de agregare în alta: $\frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{(v_2 - v_1)T}{r}$ unde v_1 și v_2 sînt volumele specifice în cele două stări de agregare, r căldura latentă specifică.

VI. Variația tensiunii superficiale cu temperatura: $\frac{\Delta \sigma}{\Delta T} = -\frac{\gamma}{T}$ unde γ este cantitatea de căldură primită de lichid din exterior pentru mărirea suprafeței cu o unitate.

VII. Relația între cantitățile de căldură schimbate cu sursele caldă (T_1) și rece (T_2) în cazul ciclului Carnot reversibil $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$. Lucrul mecanic efectuat: $L = Q_1 + Q_2$ (Q_1 și Q_2 se consideră pozitive dacă sistemul primește căldură din exterior, iar lucrul mecanic L se consideră pozitiv dacă sistemul efectuează lucru mecanic.)

VIII. Relația lui Boltzmann $n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{L}{kT}}$ unde n_1 și n_2 sînt concentrațiile particulelor aflate în mișcarea dezordonată în volumele 1 și 2; L este lucrul mecanic de trecere a unei particule din volumul 1 în volumul 2, k este constanta lui Boltzmann.

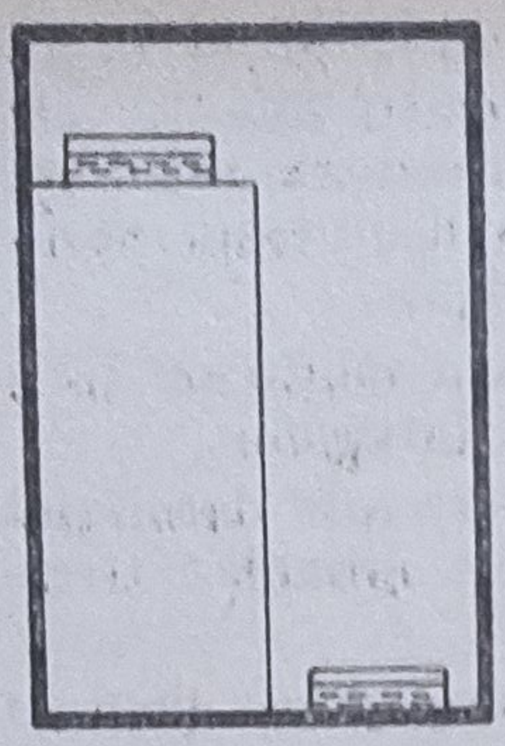


Fig. 18.1.

○ 18.1. Într-un spaţiu închis sînt aşezate, la înălţimi diferite, două vase deschise conţinînd un acelaşi lichid (fig. 18.1). Dacă temperaturile iniţiale ale lichidelor sînt aceleaşi atunci, din cauza evaporării lichidului în vasul de sus, şi a condensării vaporilor în cel de jos, va apărea o diferenţă de temperatură. Contrazice acest fapt principiul al doilea al termodinamicii ?

○ 18.2. Să se calculeze variaţia entropiei a 30 cm^3 de fier încălzit de la 20°C la 100°C.

○ 18.3. Să se găsească variaţia entropiei la răcirea a 2 g aer de la 40°C la 0°C ; a) la volum constant ; b) la presiune constantă.

○ 18.4. Să se calculeze variaţia entropiei în cazul proceselor descrise în problemele 12.10 şi 12.15. Masa azotului este egală cu 6 g.

○ 18.5. Să se calculeze variaţia entropiei unei mase de 1 g de hidrogen în următoarele cazuri : a) gazul este comprimat adiabatic la o jumătate din volumul iniţial apoi este răcit izocor pînă la temperatura iniţială ; b) gazul este comprimat adiabatic la jumătate din volumul iniţial, apoi este destins izoterm pînă la volumul iniţial.

○ 18.6. Două kg de apă sînt încălzite de la 10°C la 100°C şi la această temperatură se transformă în vapori. Să se calculeze variaţia entropiei.

△ 18.7. Să se arate că entropia creşte în cazul următoarelor procese : a) schimb de căldură între două mase egale de apă aflate iniţial la temperaturi diferite, pînă la obţinerea echilibrului termic ; b) realizarea stării de echilibru termodinamic între două recipiente identice conţinînd aceleaşi mase de gaz ideal la presiuni diferite, izolate termic de exterior, prin punerea lor în legătură.

○ 18.8. O masă de 200 g fier la 100°C este introdusă într-un calorimetru în care se află 300 g apă la 12°C. Cum se modifică entropia sistemului la stabilirea echilibrului termic ?

△ 18.9. Se amestecă două gaze diferite care nu reacţionează chimic, cu volumele $V_1 = 5$ l şi $V_2 = 3$ l, avînd temperatura $T = 300$ K şi presiunea $p = 1$ at. Să se calculeze variaţia entropiei sistemului.

△ 18.10. Într-un calorimetru conţinînd 250 g apă la 23°C se introduc 27 g gheaţă la 0°C. Să se calculeze variaţia entropiei în momentul topirii gheţii. Se neglijează căldura specifică a calorimetrului.

■ 18.11. Folosind datele din tabelul XIX să se calculeze căldura specifică la volum constant a vaporilor de apă în intervalul de temperaturi 59,7°C—93°C.

■ 18.12. O masă de vapori saturanţi de apă, aflaţi la presiunea de 14 at, se destinde adiabatic pînă la presiunea de 0,2 at. Să se calculeze fracţiunea din masa de vapori care se condensează.

● 18.13. Cum se modifică punctul de topire al gheţii la mărirea presiunii cu 1 at ?

● 18.14. În apropierea temperaturii de 100°C punctul de fierbere al apei creşte cu 0,11°C la o variaţie de presiune de 3 torr. Să se calculeze căldura latentă specifică de vaporizare a apei.

▲ 18.15. În vasul inferior din problema 18.1 se află apă la temperatura de 17,2°C. Să se calculeze diferenţa de temperatură dintre cele două vase dacă

diferența de nivel între ele este $h = 1$ m. Se neglijează schimbul de căldură între cele două vase.

△ 18.16. Să se calculeze variația energiei unei mase de apă cu temperatura de 20° C la mărirea suprafeței sale cu 1 cm².

△ 18.17. Presupunem că variația energiei apei la variația suprafeței cu 1 cm² rămîne aceeași și la transformarea lichidului în vapori. Să se calculeze variația energiei unui gram de apă la transformarea sa în vapori la 20°C.

○ 18.18. Temperatura vaporilor produși în cazanul unei mașini cu vapori este egală cu $t_1 = 210°C$. Temperatura în condensator este $t_2 = 40°C$. Să se calculeze lucrul mecanic teoretic maxim în(kJ) care se poate obține pe seama unei cantități de căldură de 4 185 J.

△ 18.19. Care este cantitatea de căldură maximă care poate fi preluată din camera frigorifică pe seama unui lucru mecanic $L = 1$ kJ dacă temperatura camerei frigorifice este $t_2 = -10°C$ iar temperatura în incinta caldă este $t_1 = 11°C$?

□ 18.20. Într-un sistem de încălzire (numit încălzire dinamică), pe seama căldurii eliberate prin arderea unui combustibil, funcționează un motor termic care acționează o mașină frigorifică. Aceasta preia o cantitate de căldură dintr-un rezervor de apă. Sursa rece a motorului termic coincide cu sursa caldă a mașinii frigorifice fiind constituită din apă care este pompată în calorifer. Ce cantitate de căldură maximă poate primi caloriferul la arderea unui kilogram de combustibil? Se dau : puterea calorică a combustibilului $q = 20{,}92 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$, temperatura în cazanul motorului termic este $t_1 = 210°C$ în rezervorul de apă, $t_2 = 15°C$ și în condensator $t_3 = 60°C$.

■ 18.21. Cunoscînd că probabilitatea ca n molecule ale unui gaz dintr-un volum V_1, să se afle la un moment dat într-un volum $V_2 < V_1$ este $w = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$, să se arate că variația entropiei unui gaz ideal care se destinde izoterm de la volumul V_2 la volumul V_1 este $\Delta S = k \ln w$ unde k este constanta lui Boltzmann.

▲ 18.22. Cu un microscop se observă printr-o diafragmă mișcarea browniană a unor particule în suspensie în apă la temperatura de 17°C. S-a constatat că numerele medii de particule observate prin diafragmă la două nivele distanțate la $h = 5$ μm sînt $n_1 = 2{,}0$ și $n_2 = 3{,}2$. Să se afle volumul unei particule.

§ 19. Transmisia căldurii

I. Cantitatea de căldură transmisă printr-un strat de grosime dx și de arie S, într-un timp τ, $Q = \lambda \frac{dT}{dx} S\tau$ iar dacă gradientul de temperatură este constant $Q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{x} S\tau$ unde λ este coeficientul de conductibilitate termică al materialului.

II. Transferul de căldură între două medii, de exemplu de la peretele de fier al unui cazan, apei, $Q = \alpha(T_1 - T_2)S\tau$, α — coeficientul de transmisie a căldurii.

● 19.1. Suprafaţa exterioară a unui zid de cărămidă cu grosimea de 37 cm (1 1/2 cărămidă) are temperatura —15°C iar cea interioară 20°C. Să se afle cantitatea de căldură transmisă printr-un metru pătrat de zid în 24 ore.

● 19.2. Într-o oală de aluminiu fierbe apă la 100°C. Să se afle diferenţa de temperatură de o parte şi de alta a fundului oalei care are grosimea 2 mm şi aria 200 cm² dacă 100 g apă aflată la 100°C se vaporizează prin fierbere în 5 min. Se neglijează transmisia căldurii prin pereţii laterali şi prin radiaţie.

▲ 19.3. Între doi pereţi metalici avînd temperaturile 20°C şi 30°C se află o placă de lemn cu grosimea de 3 cm şi o placă de sticlă cu grosimea de 2 cm. Neglijînd salturile mici de temperatură la contactele plăcii metalice cu cele de lemn şi de sticlă, să se afle temperatura suprafeţei de contact dintre lemn şi sticlă.

▲ 19.4. O placă de cupru cu grosimea de 6 mm în contact cu una de fier cu grosimea de 4 mm transmit aceeaşi cantitate de căldură ca o altă placă cu grosimea de 10 mm.
Să se afle coeficientul de conductibilitate termică al acestei plăci.

▲ 19.5. Un cub este format din plăci de diferite grosimi şi de conductibilitate diferită (vezi figura 19.5). Să se arate că în lungul plăcilor conductibilitatea termică este mai mare decît în direcţia perpendiculară pe plăci.

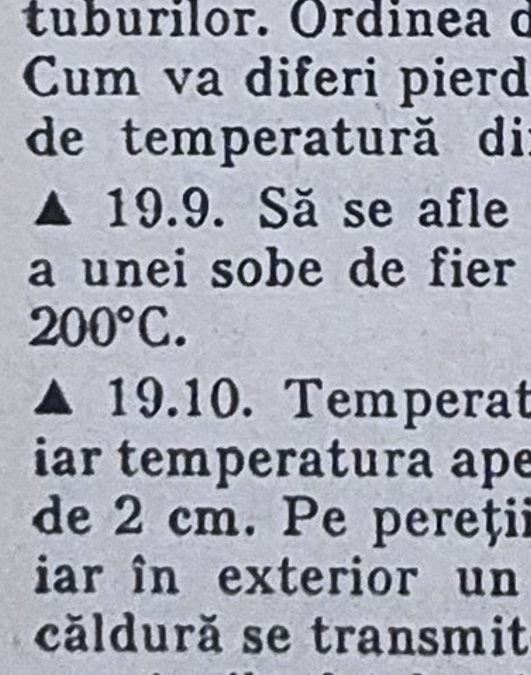


Fig. 19.5.

● 19.6. Spaţiul dintre două plăci plane orizontale, cea de jos cu temperatura mai mică, este plin cu un gaz. Ce influenţă are asupra gradientului temperaturii creşterea conductibilităţii gazului cu temperatura ?

▲ 19.7. O conductă cilindrică de vapori este izolată termic cu azbest. Temperatura exterioară a învelişului de azbest este $t_1 = 50°C$, iar a celei interioare, în contact cu conducta, $t_2 = 120°C$. Lungimea conductei este $l = 65$ m. Diametrul exterior al învelişului de azbest este $d_1 = 13$ cm, iar cel interior $d_2 = 7$ cm. Să se afle cantitatea de căldură transmisă aerului în 24 de ore.

▲ 19.8. Două tuburi de aceleaşi diametre şi lungimi sînt prevăzute cu două straturi izolatoare ($\lambda_1 = 2\lambda_2$). Ambele straturi au grosimea egală cu raza tuburilor. Ordinea de aşezare a straturilor izolatoare pe cele două tuburi diferă. Cum va diferi pierderea de căldură în acelaşi interval de timp dacă diferenţa de temperatură dintre suprafaţa tubului şi mediul exterior este aceeaşi ?

▲ 19.9. Să se afle cantitatea de căldură transmisă de o suprafaţă de 0,5 m² a unei sobe de fier într-o oră dacă temperatura aerului este 10°C, iar a sobei 200°C.

▲ 19.10. Temperatura gazelor din focarul unui cazan cu vapori este 1 000°C, iar temperatura apei în cazan este 180°C. Pereţii de fier ai cazanului au grosimea de 2 cm. Pe pereţii cazanului se află în interior un strat de calcar de 2 mm, iar în exterior un strat de funingine de 1 mm grosime. a) Ce cantitate de căldură se transmite într-o oră printr-o suprafaţă de 1 m² ? b) Să se afle temperaturile feţelor interioare şi exterioare ale calcarului, peretelui de fier şi funinginei.

CAPITOLUL III

ELECTRICITATEA

§ 20. Interacţiunea sarcinilor electrice

I. Legea lui Coulomb: Forţa de interacţiune dintre sarcinile punctiforme q_1 şi q_2, aflate la distanţa r într-un mediu de permitivitate ε: $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon r^2}$.

II. Intensitatea cîmpului electric: $E = \frac{F}{q}$.

III. Legătura între intensitatea cîmpului şi inducţia electrică: $D = \varepsilon E$.

IV. Intensitatea cîmpului produs de o sarcină punctiformă şi cîmpul în exteriorul unei sfere încărcată uniform: $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$.

V. Cîmpul produs de un fir încărcat şi cîmpul în exteriorul unui cilindru încărcat, la distanţa r de axa lui: $E = \frac{\gamma}{2\pi\varepsilon r}$, γ fiind sarcina pe unitatea de lungime.

VI. Cîmpul creat de un plan încărcat uniform cu densitatea electrică superficială σ: $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon}$.

VII. Cîmpul între armăturile condensatorilor plan, cilindric, sferic: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$; $E = \frac{\gamma}{2\pi\varepsilon r}$; $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$.

VIII. Cîmpul creat de un dipol în punctul A la distanţa $r \gg l$ (vezi figura 20.VIII) $E = \frac{p}{4\pi\varepsilon r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}$ unde $p = ql$ este momentul electric al dipolului.

IX. Momentul de rotaţie care acţionează asupra unui dipol: $\mathfrak{M} = Ep \sin\alpha$, α fiind unghiul format de dipol cu intensitatea cîmpului E.

X. Permitivitatea vidului: $\varepsilon_0 = 8{,}84 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$.

○ 20.1. Două sarcini identice aflate pe două mici sfere situate la distanţa de 10 cm interacţionează în aer cu forţa $F = 5 \cdot 10^{-4}$ N. Ce valori au cele două sarcini?

○ 20.2. Două picături de apă identice conţin cîte un electron în plus. Care sînt razele picăturilor ştiind că forţa coulombiană echilibrează forţa de atracţie gravitaţională?

△ 20.3. Două mici sfere conductoare, încărcate cu sarcini egale, suspendate cu două fire izolatoare în același punct, se află la 5 cm depărtare una de alta. Ce se va întîmpla dacă una din sfere se descarcă?

○ 20.4. Două sarcini, aflate în vid la 11 cm depărtare, interacționează cu aceeași forță ca în terebentină la 7,4 cm. Să se afle permitivitatea terebentinei.

△ 20.5. Două mici sfere încărcate, suspendate de fire de aceeași lungime, se introduc în petrol. Care este densitatea sferelor dacă firele deviază cu același unghi ca în aer?

△ 20.6. Un electron pătrunde în direcție orizontală cu viteza de $2 \cdot 10^8$ cm/s într-un cîmp $E = 10 \frac{V}{cm}$ orientat vertical în jos. a) În care puncte din apropierea electronului intensitatea cîmpului electric este nulă? b) Care este raza de curbură a traiectoriei în punctul în care electronul pătrunde în cîmp?

△ 20.7. Să se afle punctul din apropierea a două sarcini q_1 și q_2 aflate la distanța l în care cîmpul electric este nul. Se vor considera: a) sarcini de același semn; b) sarcini de semne contrare.

○ 20.8. Să se afle intensitatea cîmpului electric în centrul unui hexagon de latură a, în vîrfurile căruia sînt dispuse: a) șase sarcini egale q, de același semn; b) trei sarcini pozitive și trei sarcini negative egale între ele.

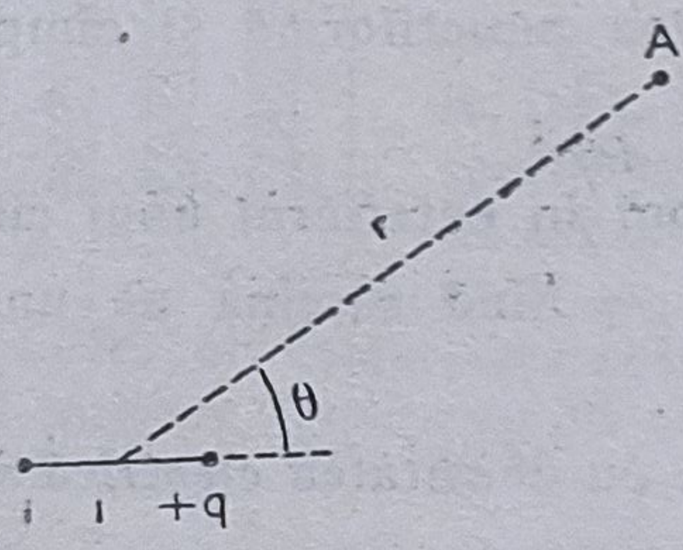


Fig. 20.8.

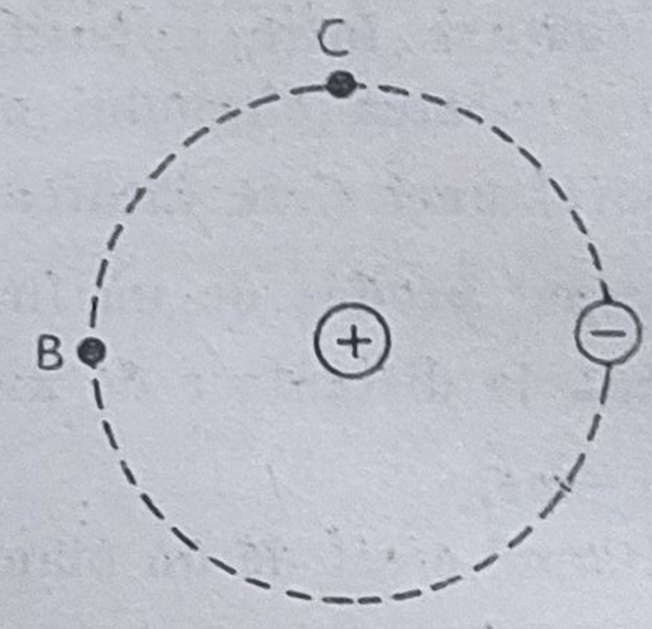


Fig. 20.9.

▲ 20.9. În figura 20.9 este reprezentat protonul și electronul atomului de hidrogen, aflați la distanța de $5 \cdot 10^{-9}$ cm. Să se afle intensitatea cîmpului electric în punctele B și C.

▲ 20.10. Molecula de apă poate fi considerată ca un dipol al cărui moment electric este $6{,}16 \cdot 10^{-30}$ C·m. a) Care este lungimea dipolului dacă sarcinile lui sînt egale cu sarcina elementară? b) Să se afle intensitatea cîmpului creat de dipol în prelungirea lui și perpendicular pe el la distanța de $3 \cdot 10^{-7}$ cm. c) O moleculă de apă și un ion de hidrogen se află la distanța de $3 \cdot 10^{-7}$ cm. Să se afle forțele maximă și minimă de interacțiune dintre moleculă și ion și momentele de rotație care acționează asupra moleculei și asupra sistemului moleculă-ion.

■ 20.11. a) Să se afle forța de interacțiune dintre două molecule de vapori de apă, ale căror dipoli sînt așezați în prelungire la distanța de 10^{-7} cm. Momentul electric al fiecărui dipol este $6{,}16 \cdot 10^{-30}$ C·m. b) Să se calculeze, aproximativ, lucrul mecanic necesar pentru a îndepărta două molecule de apă de la distanța de $4 \cdot 10^{-8}$ cm (la care se găsesc în apă) pînă la distanța la care forța de interacțiune dintre dipoli este neglijabilă (vapori). c) Ce lucru mecanic este necesar spre a îndepărta unele de altele toate moleculele din-

tr-un cm³ de apă la temperatura camerei? Să se compare rezultatul cu căldura latentă de vaporizare la temperatura camerei.

■ 20.12. În figura 20.12 sînt reprezentaţi doi dipoli identici, perpendiculari, aşezaţi la distanţa $r \gg l$. Care sînt momentele de rotaţie care acţionează asupra dipolilor A şi B şi asupra sistemului în ansamblu?

○ 20.13. Intensitatea cîmpului electric al Pămîntului are în apropierea suprafeţei, în medie, valoarea $E = -130$ V/m. Ce sarcină electrică ar avea Pămîntul dacă intensitatea cîmpului electric din jurul Pămîntului ar avea peste tot această valoare?

○ 20.14. La distanţa de 4 mm de un conductor rectiliniu cu lungimea de 150 cm, încărcat uniform cu o sarcină de $2 \cdot 10^{-7}$ C se află un fir de praf cu sarcina de $-1{,}67 \cdot 10^{-16}$C. Ce forţă acţionează asupra firului de praf?

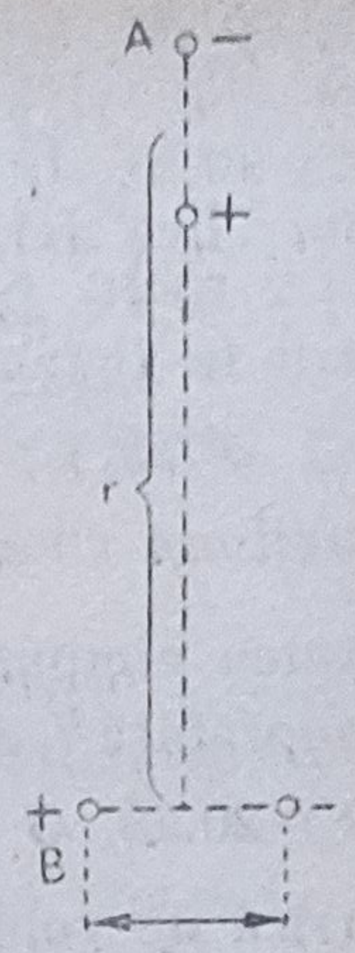


Fig. 20.12.

△ 20.15. Un condensator cu aer, încărcat, este introdus într-un vas în care se toarnă petrol. Cum se va modifica intensitatea cîmpului şi inducţia electrostatică după ce se toarnă petrolul: a) dacă armăturile sînt deconectate de la sursa de tensiune constantă?, b) dacă armăturile sînt legate la sursă?

△ 20.16. Două plăci plane, încărcate cu sarcini egale şi de semn contrar, cu $S = 200$ cm², aflate în petrol, se atrag cu $F = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ N. Cîmpul între plăci se consideră omogen. Să se afle: a) sarcinile pe armături; b) inducţia cîmpului în petrol.

○ 20.17. Două plăci identice încărcate cu sarcini egale de acelaşi semn sînt suficient de apropiate, astfel încît cîmpul dintre ele este nul. Cum se va schimba forţa de interacţiune dintre plăci dacă spaţiul dintre ele se umple cu un dielectric lichid de permitivitate ε?

▲ 20.18. Armăturile unui condensator plan (200 cm²) sînt încărcate cu sarcinile $+2 \cdot 10^{-7}$C şi $-2 \cdot 10^{-7}$C. Să se calculeze lucrul mecanic necesar depărtării plăcilor cu 3 cm.

▲ 20.19. O vergea subţire este încărcată uniform cu sarcina $q = 2 \cdot 10^{-8}$C. Să se afle intensitatea cîmpului în punctul situat la distanţele $R = 20$ cm de capete şi la $R_0 = 15$ cm de mijlocul vergelei.

□ 20.20. Un inel conductor subţire cu raza $R = 5$ cm este încărcat uniform cu sarcina $q = 1{,}66 \cdot 10^{-8}$C. Să se calculeze: a) intensitatea cîmpului în centrul inelului; b) intensitatea cîmpului în punctul situat la $h = 10$ cm de centrul inelului pe perpendiculara dusă prin centru la planul inelului; c) intensitatea maximă pe această perpendiculară.

□ 20.21. O placă circulară cu raza $a = 8$ cm este încărcată uniform cu densitatea superficială $\sigma = 1{,}66 \cdot 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$. a) Să se afle intensitatea cîmpului în punctul aflat la $b = 6$ cm de placă, pe perpendiculara la suprafaţa plăcii dusă prin centrul ei. b) Să se deducă din formula stabilită expresiile cîmpului creat de o placă infinită ($b \to \infty$) şi de o sarcină punctiformă ($b \gg a$).

□ 20.22. O suprafaţă plană este încărcată uniform cu sarcină electrică de densitate superficială σ. În mijlocul suprafeţei se află un gol circular de rază a, mică în raport cu dimensiunile suprafeţei. Să se afle intensitatea cîmpului în punctul situat la distanţa b de plan, pe perpendiculara care trece prin centrul golului. Indicaţie: Să se rezolve în prealabil problema 20.21.

□ 20.23. O semisferă este încărcată uniform cu sarcină de densitate σ. Să se afle intensitatea cîmpului electric în centrul semisferei.

○ 20.24. În jurul unei sfere metalice cu raza de 2 cm se află o suprafață metalică sferică concentrică cu sfera cu raza de 4 cm. Pe sferă, se află sarcina $+2 \cdot 10^{-8}$C, iar pe suprafață $-4 \cdot 10^{-8}$C. Să se afle intensitatea cîmpului electric la distanțele: a) 3 cm și b) 5 cm de centrul sferei.

○ 20.25. Un strat dielectric plan ($\varepsilon_r = 2$) cu grosimea de 0,5 cm este încărcat uniform cu densitatea electrică de volum de $2{,}66 \cdot 10^{-2} \frac{C}{m^3}$. Care este intensitatea cîmpului: a) la mijlocul dielectricului? b) în interior, la 0,1 cm de suprafață? c) în exteriorul dielectricului?

○ 20.26. O sferă dielectrică cu $R = 2$ cm este încărcată cu densitatea electrică de volum de $2{,}33 \cdot 10^{-2} \frac{C}{m^3}$. Care este intensitatea cîmpului la distanța de 3 cm de centrul sferei?

△ 20.27. Să se traseze graficul dependenței intensității cîmpului electric de distanță în următoarele cazuri: a) cîmpul electric al unui condensator plan. Pe axa absciselor se va lua distanța x de la un punct oarecare la prima armătură a condensatorului. b) Cîmpul unui condensator sferic de raze R_1 și R_2. Sfera interioară este încărcată pozitiv. Pe axa absciselor se va lua distanța r de la centrul sferelor. c) Cîmpul unui strat dielectric încărcat cu densitatea electrică de volum constantă. Pe axa absciselor se va lua distanța de la un punct oarecare pînă la dielectric. d) Cîmpul unei sfere dielectrice, cu densitate constantă de volum. Pe axa absciselor se va lua distanța de la centrul sferei.

§ 21. Potențialul

I. Lucrul mecanic de deplasare a unei sarcini q în cîmp electric este $L = qU$, unde U este diferența de potențial dintre punctele între care se deplasează sarcina q.

II. Intensitatea cîmpului ca gradient al potențialului: $E_n = -\frac{dV}{dn}$.

III. Potențialul în cîmpul unei sarcini punctiforme sau în exteriorul unei sfere încărcată uniform: $V = \frac{q}{4\pi\varepsilon R}$. În prezența mai multor sarcini: $V = \sum \frac{q}{4\pi\varepsilon R}$.

IV. Diferența de potențial (tensiunea electrică) între armăturile unui condensator plan, cilindric, sferic: $U = \frac{\sigma d}{\varepsilon}$; $U = \frac{\gamma}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{R_2}{R_1}$; $U = \frac{q}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$.

○ 21.1. Să se traseze suprafețele echipotențiale în următoarele cazuri (vezi figura 21.1): a) Un plan conductor, prevăzut cu un vîrf ascuțit. Un alt plan este așezat paralel cu primul. b) Între două plane conductoare între care se găsește o sferă conductoare neîncărcată electric. c) O sferă izolată, electrizată, legată printr-un fir conductor cu tija unui electroscop. În toate

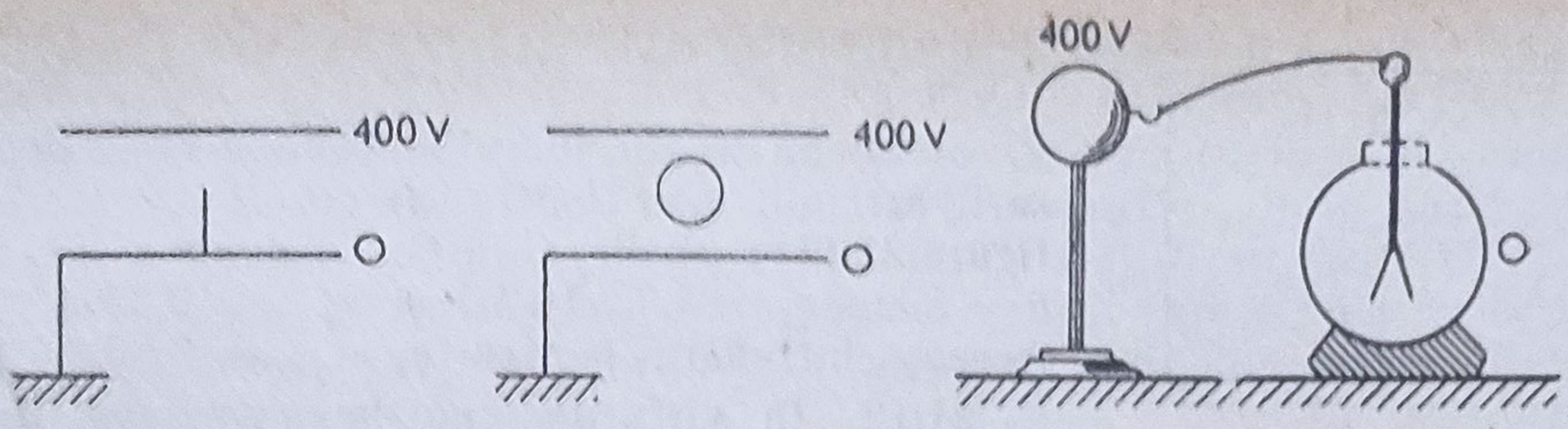


Fig. 21.1.

cazurile unul din corpuri are potențialul zero (legat la pămînt) iar celălalt potențialul de 400 V. Se cere să se traseze suprafețele echipotențiale corespunzătoare potențialelor de 100 V, 200 V, 300 V.

○ 21.2. a) Se pot intersecta liniile de forță ale cîmpului electric? (În regiunile unde lipsesc sarcinile electrice și cîmpul electric este diferit de 0.) b) Se pot intersecta sau atinge suprafețele echipotențiale (corespunzînd la potențiale diferite)?

▲ 21.3. Plecînd de la faptul că, în cîmp electric lucrul mecanic de deplasare a unei sarcini în circuit închis este nul, să se arate că: a) dacă liniile de forță sînt drepte paralele, densitatea lor este constantă (cîmp omogen); b) dacă liniile de forță sînt arce de cerc concentrice, intensitatea cîmpului este invers proporțională cu raza cercului și nu se schimbă de-a lungul unei linii de forță.

△ 21.4. În figura 21.4 este reprezentată experiența cu „umbrela" electrică. Benzile de hîrtie se orientează de-a lungul liniilor de forță din jurul sferei electrizate. Totodată benzile pot fi considerate drept conductoare, iar suprafețele lor, echipotențiale. Să se explice acest fapt.

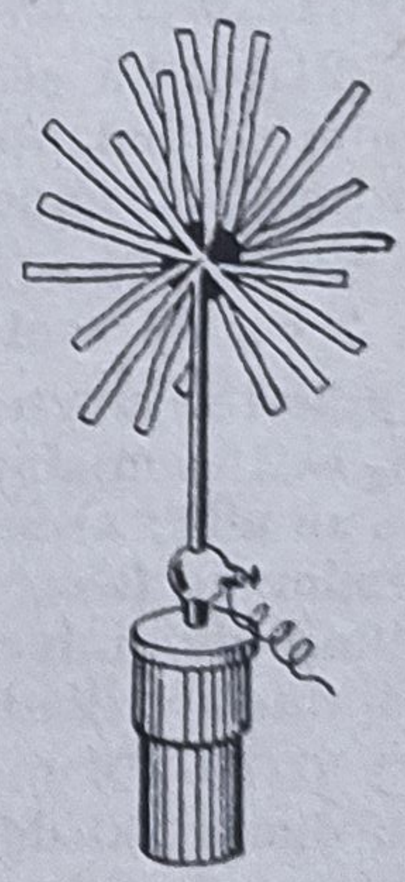


Fig. 21.4.

△ 21.5. Să se exprime în eV: a) energia unui electron care se mișcă cu viteza de $10^3 \frac{km}{s}$; b) energia medie a mișcării de translație a moleculelor la 0°C; c) diferența energiilor medii ale moleculelor de vapori de apă și ale apei, la 17,2°C; d) lucrul mecanic necesar pentru îndepărtarea unei molecule de azot de la pămînt, la infinit.

○ 21.6. Cîți electroni conține sarcina unui fir de praf cu masa de 10^{-11} g care stă în echilibru între armăturile unui condensator plan ($d = 5$ mm, $U = 76{,}5$ V)?

△ 21.7. O picătură cu $m = 10^{-9}$ g cade uniform între două plăci plane verticale aflate la distanța de 0,5 cm. Dacă între plăci se aplică tensiunea $U = 400$ V, picătura cade sub unghiul de 7°25′ față de verticală. Să se calculeze sarcina electrică a picăturii presupunînd că viteza picăturii este direct proporțională cu forța care acționează asupra ei.

△ 21.8. Două plăci ($S = 2$ dm²) se află în petrol la distanța $d = 4$ mm una de alta. Cu ce forță interacționează dacă ele sînt încărcate la $U = 150$ V?

○ 21.9. În ce caz forța de interacțiune dintre două plăci este: a) direct proporțională cu ε?. b) invers proporțională cu ε?

○ 21.10. O sferă cu raza de 1 cm este încărcată cu sarcina $q = 3{,}33 \cdot 10^{-9}$C.. Să se reprezinte intersecțiile suprafețelor echipotențiale corespunzătoare·

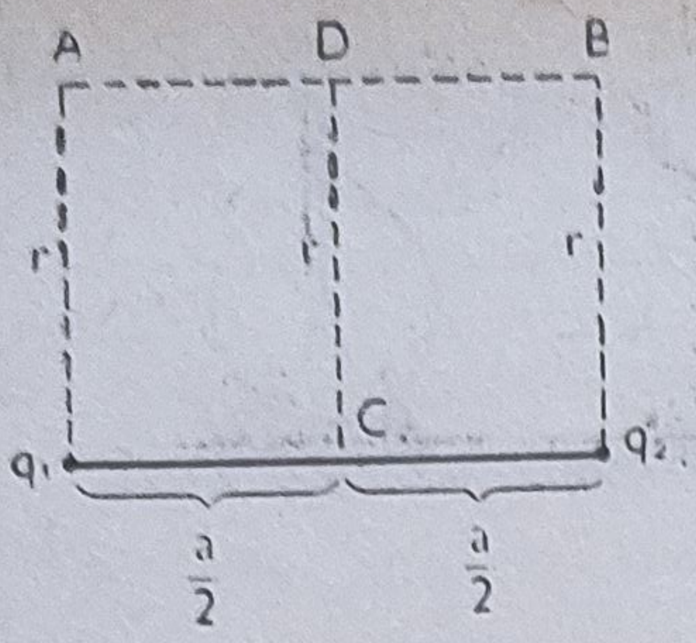


Fig. 21.11.

potențialelor de 3 000 V, 2 400 V, 1 800 V, 1 2000 V și 600 V cu un plan care trece prin centrul sferei.

○ 21.11. Să se afle lucrul mecanic necesar deplasării sarcinii $q = 10^{-9}$C : a) din A în B (vezi figura 21.11) ; b) din C în D. Se dau : $r = 6$ cm, $a = 8$ cm, $q_1 = 3{,}33 \cdot 10^{-9}$C și $q_2 = -3{,}33 \cdot 10^{-9}$C. Aceeași întrebare pentru $q_1 = q_2 = 3{,}33 \cdot 10^{-9}$C.

△ 21.12. În vîrfurile unui hexagon regulat cu latura de 5 cm se află sarcini electrice punctiforme avînd fiecare $6{,}6 \cdot 10^{-9}$C. a) Care este lucrul mecanic necesar pentru deplasarea unei sarcini de $3{,}3 \cdot 10^{-9}$C din centrul hexagonului în mijlocul uneia din laturi ? b) Aceeași întrebare pentru cazul cînd semnul sarcinilor electrice alternează.

△ 21.13. Un inel conductor subțire cu raza $R = 5$ cm este încărcat uniform cu sarcina $q = 1{,}66 \cdot 10^{-8}$C. a) Să se afle potențialul unui punct situat pe perpendiculara în centru la planul inelului, în funcție de distanța h pînă la plan. b) Să se afle intensitatea cîmpului ca gradient al potențialului. c) Să se afle potențialul și intensitatea cîmpului în centrul inelului și la $h = 10$ cm. Să se compare cu rezultatul problemei 20.20.

□ 21.14. În problema 20.21 să se afle potențialul în funcție de distanța b și să se calculeze intensitatea cîmpului ca gradient al potențialului.

□ 21.15. Să se deducă formula pentru potențialul cîmpului generat de o sferă conductoare încărcată, însumînd potenațialele corespunzătoare diverselor puncte ale sferei : pentru un punct situat : a) pe sferă ; b) în interiorul sferei ; c) în exteriorul sferei.

△ 21.16. Să se traseze graficele dependenței potențialelor punctelor cîmpului de distanțe în toate cazurile din problema 20.27. Potențialul punctului situat în originea distanțelor se va lua cu zero.

△ 21.17. Să se calculeze potențialele punctelor aflate la distanțele de 3 cm și 5 cm de centrul sferei din problema 20.24.

□ 21.18. Diferența de potențial dintre doi cilindri coaxiali lungi ($R_1 = 3$ cm, $R_2 = 10$ cm) încărcați cu sarcini egale și de semn contrar, este $U = 450$ V. Să se afle : a) Sarcina pe unitatea de lungime a cilindrilor ; b) densitatea sarcinilor pe fiecare cilindru ; c) intensitatea cîmpului în apropierea suprafeței cilindrului interior, la jumătatea distanței dintre cilindri și în apropierea suprafeței cilindrului exterior.

□ 21.19. Filamentul unei diode emite electroni. Anodul este un cilindru cu diametrul de 10 mm iar filamentul, situat după axa cilindrului, are diametrul de 0,1 mm. Tensiunea anodică este 91 V. Viteza electronilor emiși fiind mică, să se afle accelerația și viteza electronilor la distanța de 3,5 mm de filament.

△ 21.20. Un condensator plan cu aer ($d = 1{,}5$ cm) este încărcat la $U = 39$ kV. Va fi străpuns condensatorul dacă intensitatea limită în aer este 30 kV/cm ? Dar dacă se introduce, paralel cu armăturile, o placă de sticlă cu grosimea de 0,3 cm ? Intensitatea limită a sticlei este 100 kV/cm.

△ 21.21. Un condensator cilindric conține doi dielectrici (ε_1, ε_2) cu intensitățile limită E_1 și E_2. Pentru folosirea cît mai rațională a materialului, este de dorit ca ambii dielectrici să atingă simultan intensitățile limită. În ce raport se află, în acest caz, razele cilindrilor dielectrici ?

□ 21.22. a) Un condensator cilindric are două straturi dielectrice. Primul dielectric este hîrtie impregnată cu lac ($\varepsilon_{r1} = 4$) cu $r_1 = 2$ cm și $r_2 = 2{,}3$ cm, iar al doilea sticlă ($\varepsilon_{r2} = 7$) cu $r_2 = 2{,}3$ cm și $r_3 = 2{,}5$ cm. Unde va fi străpuns condensatorul dacă tensiunea crește progresiv, în hîrtie sau în sticlă? La ce tensiune va fi străpuns? Intensitățile limită sînt $E_1 = 120$ kV/cm și $E_2 = 100$ kV/cm. b) Aceeași întrebare pentru cazul în care cei doi dielectrici sînt așezați invers, în interior sticlă cu grosimea de 2 mm, iar în exterior hîrtie cu grosimea de 3 mm.

□ 21.23. Între două conductoare lungi, paralele cu razele $r = 1$ mm aflate la distanța $l = 15$ cm se menține o tensiune $U = 1\,500$ V. Să se afle intensitatea cîmpului: a) în punctul situat la jumătatea distanței dintre conductoare; b) în punctul situat la $R_1 = 30$ cm de un conductor și la $R_2 = 25$ cm de celălalt.

△ 21.24. Un strat dielectric cu grosimea $d = 5$ cm posedă o sarcină de volum cu densitatea $\rho = 6{,}6 \cdot 10^{-4} \frac{C}{m^3}$. Să se afle diferența de potențial între suprafețele dielectricului și mijlocul său ($\varepsilon_r = 3$).

△ 21.25. Doi cilindri A și B se află în vid (vezi figura 21.25). Cilindrul B are un potențial pozitiv ridicat iar potențialul cilindrului A este apropiat de zero. În cilindrul A se propagă un fascicol divergent de electroni. Ce influență are asupra mișcării electronilor cîmpul electric dintre cilindrii A și B?

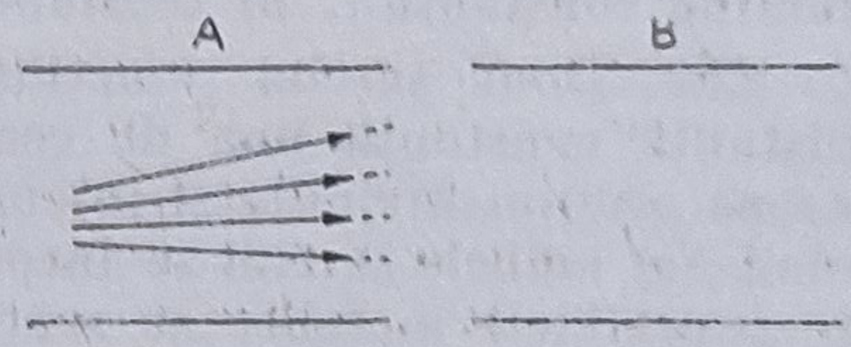


Fig. 21.25.

△ 21.26. Un electron a cărui energie corespunde unei tensiuni acceleratoare U_0 pătrunde, în vid, în cîmpul electric dintre armăturile unui condensator cilindric cu razele R_1 și R_2. Viteza inițială a electronului este perpendiculară pe un plan care conține axa condensatorului. Pentru ce valoare a tensiunii dintre armături electronul va descrie o circumferință?

△ 21.27. Un fascicul îngust de electroni pătrunde între armăturile unui condensator plan (vezi figura 21.27) și produce iluminarea ecranului fluorescent aflat la $l = 15$ cm de extremitatea condensatorului. La o tensiune dintre plăci $U = 50$ V spotul luminos se deplasează cu $s = 21$ mm. Distanța dintre armături este $d = 18$ mm, lungimea condensatorului este $b = 6$ cm. Să se afle viteza electronului.

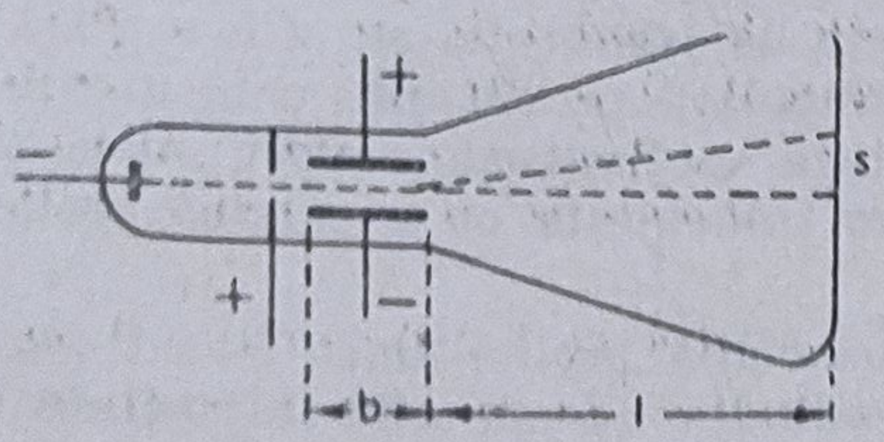


Fig. 21.27.

△ 21.28. Un flux de electroni accelerați la tensiunea $U_1 = 5\,000$ V se propagă în planul median al unui condensator plan. Ce tensiune minimă trebuie aplicată între plăci pentru ca electronii să nu poată părăsi condensatorul? Lungimea condensatorului este $b = 5$ cm iar distanța dintre plăci este $d = 1$ cm.

□ 21.29. Un electron în mișcare cu viteza $v_0 = 40\,000$ km/s trece printre plăcile unui condensator aflate la distanța $d = 0{,}5$ cm și cu lungimea $b = 6$ cm, între care se aplică tensiunea $U = 40$ V. Cu cît crește viteza electronului la ieșirea lui din cîmpul electric?

§ 22. Conductori in cimpul electric

Vezi introducerea la § 20 și § 21.

22.1. Patru plăci conductoare paralele și echidistante sînt dispuse ca în figură. Plăcile A și B, aflate la distanța d, sînt încărcate pînă la tensiunea U și apoi sînt deconectate de la sursă. Plăcile C și D nu sînt încărcate. a) Care este tensiunea între AC, CD, DB? Care este intensitatea cîmpului în spațiile dintre plăci? b) Aceleași întrebări dacă plăcile C și D se leagă printr-un conductor și apoi se dezleagă c) Aceleași întrebări dacă plecînd de la situația finală de la punctul b) se leagă plăcile A și B și apoi se dezleagă. d) Cum se modifică răspunsurile la a), b) și c) dacă în primele două cazuri plăcile A și B se mențin sub tensiunea constantă iar în al treilea caz vor fi mai întîi deconectate de la sursă și apoi vor fi legate printr-un conductor?

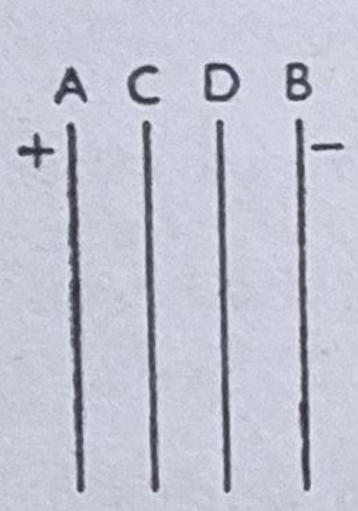


Fig. 22.1.

○ 22.2. Un corp metalic se află între plăcile unui condensator cu aer, încărcat. La suprafețele corpului apar prin influență sarcini pozitive și negative. Spațiul dintre plăci se umple cu petrol. Se vor schimba sarcinile induse la suprafețele corpului în cazurile cînd: a) sarcina condensatorului rămîne constantă?, b) tensiunea rămîne constantă?

○ 22.3. Două sarcini punctiforme, egale și de sens contrar, se află la o distanță constantă una de cealaltă. Cum se va schimba forța care acționează asupra sarcinilor și intensitatea cîmpului în diferite puncte în cazurile cînd: a) ambele sarcini se înconjoară cu suprafețe metalice echipotențiale?, b) suprafețele metalice se scurtcircuitează?

△ 22.4. O mică sferă încărcată cu $q = 1 \cdot 10^{-8}$C se află la distanța $a = 3$ cm de un perete metalic plan legat la pămînt. Cu ce forță interacționează sfera cu peretele?

△ 22.5. Să se arate că lucrul mecanic necesar îndepărtării unei sarcini punctuale de o altă sarcină, egală și de sens contrar pînă la infinit, este de 4 ori mai mare decît lucrul necesar îndepărtării aceleiași sarcini, la infinit, de o placă conductoare infinită, aflată inițial la aceeași distanță.

△ 22.6. a) Sarcinile punctiforme $q_1 = +2 \cdot 10^{-9}$C și $q_2 = +1 \cdot 10^{-9}$C se află la distanța $d_1 = 4{,}6$ cm una de alta. Între ele, la jumătate, se află o placă conductoare cu grosimea $d_2 = 2$ cm, perpendiculară pe dreapta care unește cele două sarcini legate la pămînt. Ce forță acționează asupra plăcii? b) Aceeași întrebare dacă una din sarcini se înlocuiește cu o sarcină egală și de sens contrar.

△ 22.7. Un nor mic, cu sarcina $q = 20$ C, se află la înălțimea $h = 1$ km față de pămînt. Considerînd pămîntul conductor să se afle intensitatea cîmpului creat de această sarcină la distanță $s = 3$ km de locul deasupra căruia se află norul. Se neglijează curbura pămîntului.

□ 22.8. Sarcina punctiformă $q = 1{,}66 \cdot 10^{-9}$C se află la distanța $a = 3$ cm de un perete metalic legat la pămînt. Să se afle densitatea superficială de sarcină pe peretele metalic: a) în punctul cel mai apropiat de sarcină; b) în punctul aflat la $r = 5$ cm de sarcină; c) să se afle sarcina totală indusă pe suprafața peretelui.

○ 22.9. În instalațiile de captare a prafului, aerul se trece prin tuburi metalice pe axa cărora se află un fir conductor. Între fir și tub există un cîmp electric intens. Firul are un potențial negativ iar tubul se leagă

la pămînt. Cum se vor comporta firele de praf : a) neelectrizate ?, b) încărcate pozitiv sau negativ ?

△ 22.10. O sferă cu un vîrf ascuțit A și un cilindru metalic B (vezi figura 22.10), așezate pe suporturi izolatoare, sînt încărcate la un același potențial. Cu o altă sferă C, prevăzută cu un mîner izolator, se ating succesiv vîrful ascuțit al sferei A și interiorul cilindrului B. Sarcina sferei scade, a cilindrului crește și energia sistemului crește. Pe seama cui crește energia ?

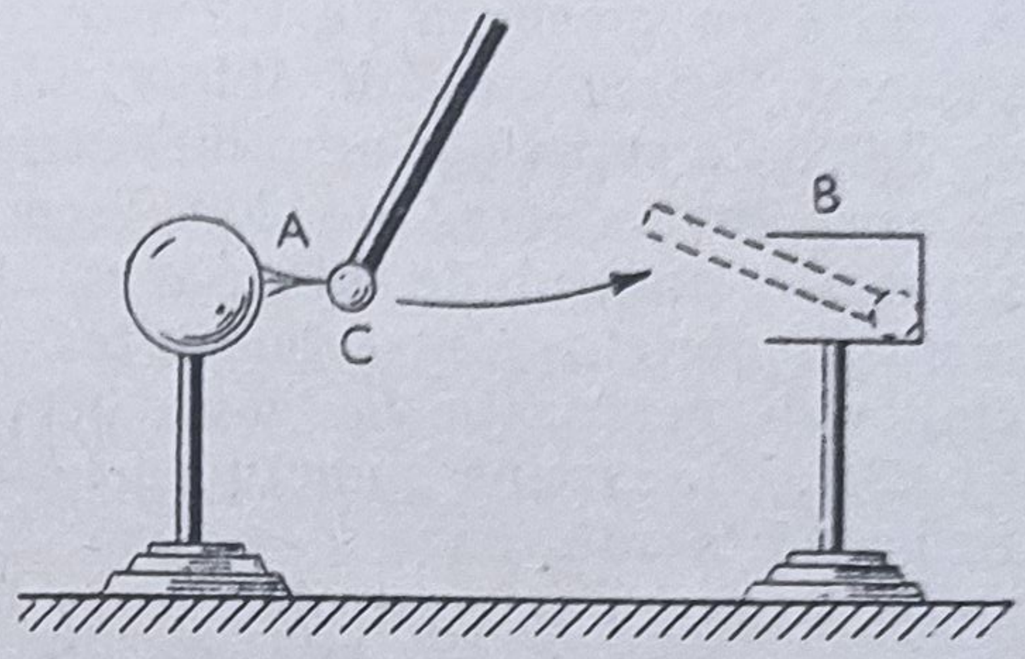


Fig. 22.10.

△ 22.11. O baterie E alimentează instalația din figura 22.11. Între plăcile metalice A și B se află placa metalică izolată C cu grosimea mult mai mică decît distanța AB. Placa C se atinge de B, apoi se mișcă uniform către A de care se atinge, apoi se mișcă uniform către B etc. Durata contactelor cu A și B este 0,1 s. Durata mișcărilor între A și B este 0,3 s. Sarcina transportată de placa C este $3 \cdot 10^{-11}$C. Să se reprezinte graficul intensității curentului din circuit.

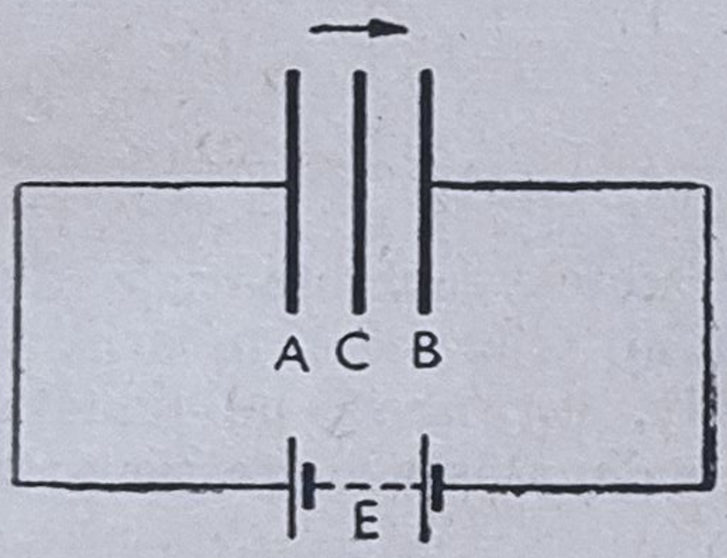


Fig. 22.11.

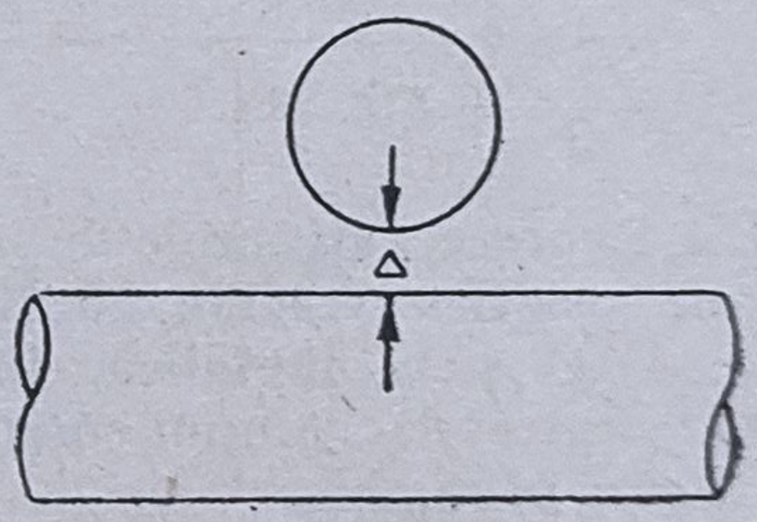


Fig. 22.12.

□ 22.12. Axele a doi cilindri metalici lungi formează un unghi drept (vezi figura 22.12). Distanța minimă dintre suprafețele cilindrilor este $\Delta = 0{,}1$ cm Razele cilindrilor sînt $R_1 = R_2 = R = 5$ cm. Tensiunea între cilindri este $U = 300$ V. Să se afle forța de atracție dintre cilindri. Indicație : Se va folosi condiția $\Delta \ll R$.

§ 23. Dielectrici în cîmp electric

I. Într-un dielectric $\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E} + \vec{P}$ unde $\vec{P}$ este polarizația electrică ; $\vec{P} = k\vec{E}$ (k este coeficientul de electrizare). Evident, $\varepsilon = \varepsilon_0 + k$.

II. Legătura dintre densitatea superficială σ_1 a sarcinilor de polarizație la suprafața de contact dielectric — conductor și densitatea σ a sarcinilor adevărate de pe conductor : $\sigma_1 = \sigma \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon}$.

III. Saltul componentei normale a intensității cîmpului la contactul a doi dielectrici se află din relația : $\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$.

IV. Refracţia liniilor de forţă la contactul a doi dielectrici satisface relaţia $\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$.

○ 23.1. Să se afle coeficientul de electrizare al sticlei.

△ 23.2. Să se afle densitatea sarcinilor de polarizaţie la suprafaţa unei foi de mică cu grosimea de 0,2 mm folosită ca dielectric într-un condensator încărcat la tensiunea de 400 V.

△ 23.3. La suprafaţa unui dielectric (porţelan) intensitatea cîmpului electric, în aer, are valoarea de 200 V/cm. Direcţia cîmpului face cu normala la suprafaţă unghiul de 40°. Să se afle: a) unghiul liniilor de cîmp cu normala în porţelan; b) intensitatea cîmpului în porţelan; c) densitatea sarcinilor de polarizaţie la limita porţelan-aer.

□ 23.4. O sarcină punctiformă $q = 1{,}66 \cdot 10^{-8}$C (vezi figura 23.4) se află în petrol la adîncimea $h = 3$ cm. Să se afle densitatea sarcinilor de polarizaţie la suprafaţa petrolului: a) deasupra sarcinii şi b) la $r = 5$ cm de sarcină; c) să se calculeze sarcina de polarizaţie totală la suprafaţa petrolului.

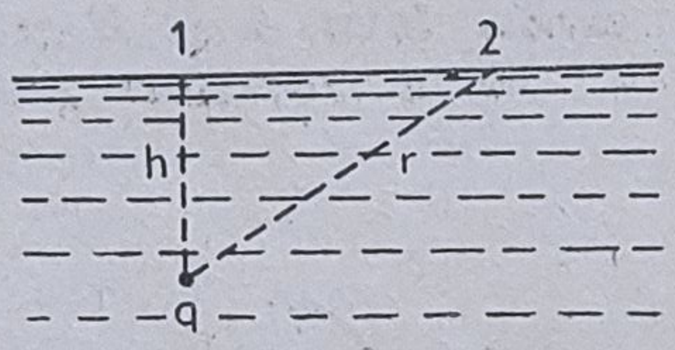


Fig. 23.4.

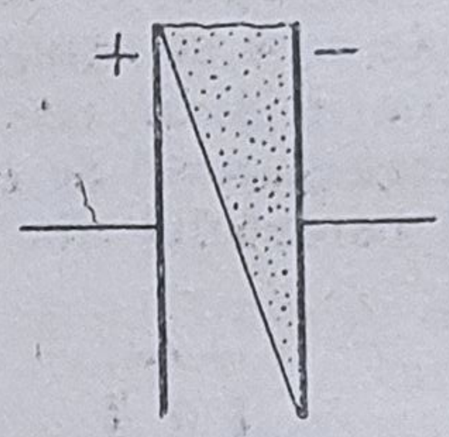


Fig. 23.5.

○ 23.5. Reprezentaţi liniile de inducţie şi suprafeţele echipotenţiale (diferind între ele printr-o valoare constantă a tensiunii electrice) în următoarele cazuri: 1) O sferă metalică, încărcată pozitiv, introdusă pe jumătate în petrol. 2) Între plăcile unui condensator plan încărcat, cu dielectric parafină, ca în figura 23.5.

△23.6 Două plăci aşezate orizontal sînt încărcate cu sarcinile $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$C şi $q_2 = -2 \cdot 10^{-7}$C. Cîmpul dintre plăci se poate considera omogen. Placa inferioară se introduce într-un dielectric lichid. ($\varepsilon_r = 3$). Aria fiecărei plăci este 300 cm^2. Să se afle forţele care acţionează asupra fiecărei plăci şi asupra suprafeţei lichidului.

§ 24. Capacitatea electrică

I. Sarcina unui condensator de capacitate C aflat la tensiunea U: $q = CU$.

II. Capacitatea condensatorilor plan, cilindric şi sferic: $c = \frac{\varepsilon S}{d}$; $C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$;

$C = \frac{4\pi\varepsilon}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$. Capacitatea unei sfere izolate se obţine din ultima formulă pentru $R_2 \to \infty$.

III. Capacitatea echivalentă la legarea în paralel şi în serie: $C_p = \sum C_i$;

$$C_s = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_i}}.$$

IV. Energia unui condensator încărcat : $w = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$.

V. Densitatea de energie a cîmpului electric $w = \frac{\varepsilon E^2}{2}$.

○ 24.1. Există dielectrici pentru care permitivitatea depinde de intensitatea cîmpului (de exemplu : sarea Seignette). La condensatorii cu asemenea dielectrici se menține proporționalitatea dintre tensiune și sarcină ?

○ 24.2. Pînă la ce tensiune trebuie încărcat un condensator telefonic cu capacitatea de $2\ \mu F$ spre a avea aceeași sarcină ca o butelie de Leyda cu capacitatea de $10^{-9} F$ încărcată la tensiunea de 30 000 V ?

△ 24.3. a) Să se arate că pentru a grosime mică a dielectricului capacitatea unui condensator sferic se poate calcula după formula capacității condensatorului plan. b) Să se facă aceeași demonstrație pentru condensatorul cilindric. Observație : $\ln (1 + x) \approx x$ dacă $x \ll 1$.

○ 24.4. O butelie de Leyda are diametrul exterior de 15 cm, înălțimea de 20 cm și grosimea sticlei de 2 mm. Să se afle capacitatea ei (folosind formula capacității condensatorului plan).

△ 24.5. Două sfere conductoare, de diametre diferite, se pun în contact și se încarcă. Apoi se depărtează la o distanță apreciabilă. Au ele, în această situație, același potențial ?

○ 24.6. Un condensator este format din trei foițe de staniol cu $S = 6\ cm^2$ fiecare, separate prin două plăcuțe de mică cu grosimea de 0,1 mm. Foițele exterioare sînt scurtcircuitate. Care este capacitatea unui astfel de condensator ?

□ 24.7. Două discuri metalice, identice, cu diametrul de 12 cm sînt așezate paralel și deplasate astfel încît centrul fiecărui disc se află în dreptul marginii celuilalt. Care este capacitatea acestui sistem, dacă între discuri se află hîrtie parafinată cu grosimea de 0,2 mm (vezi figura 24.7) ?

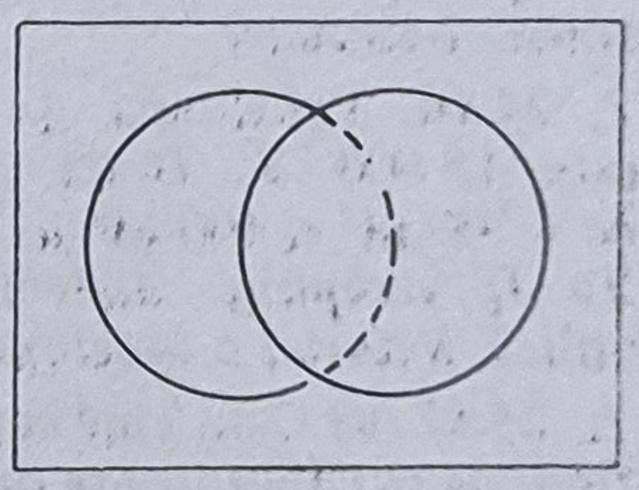
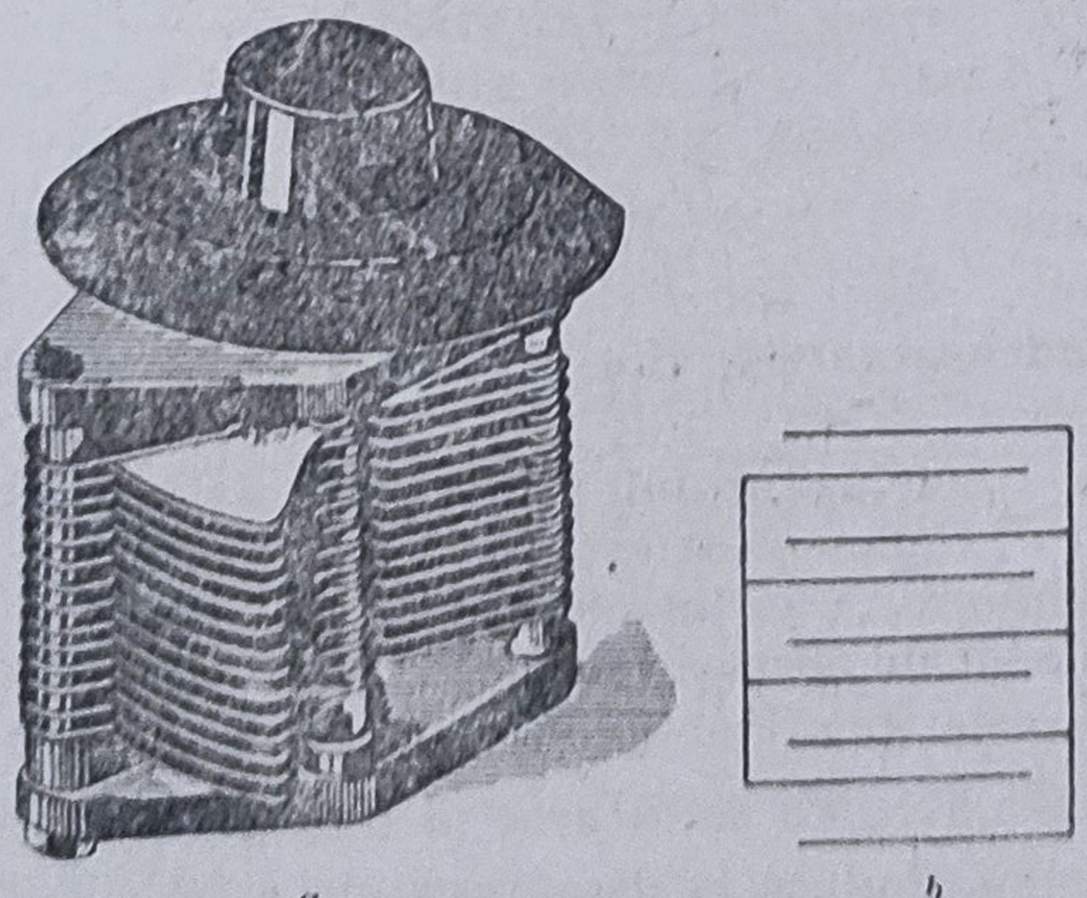


Fig. 24.7.

△ 24.8. Din cauza unui scurtcircuit între plăcile unui condensator variabil (figura 24.8, *a*) cu un număr par de intervale dielectrice, rotorul său a fost deplasat în raport cu statorul, astfel că, grosimile intervalelor dintre plăci se află în raportul 1:2 (vezi figura 24.8, *b*). Cum s-a modificat capacitatea condensatorului ?



a *b*

Fig. 24.8.

○ 24.9. Un condensator cu foițe de staniol și cu dielectric hîrtie parafinată se acoperă pe o față cu hîrtie parafinată (ca și cea dintre foițe) și se răsucește. Cum se va modifica prin aceasta capacitatea condensatorului ?

△ 24.10. Armăturile unui condensator plan se încarcă la $U = 300$ V.

Armăturile se apropie cu viteza de 1 mm/s. Ce curent circulă prin firele de legătură în momentul în care plăcile se află la distanța de 2 mm? Suprafața plăcilor este $S = 400$ cm².

△ 24.11. O sferă metalică cu raza $R = 3$ cm este introdusă pe jumătate în petrol. Ce sarcină apare pe sferă dacă ea are potențialul de 1800 V?

□ 24.12. a) Să se calculeze capacitatea unui condensator format din două sfere cu diametrul $d = 1$ cm ale căror centre se află, în aer, la distanța $l = 20$ cm, admițînd că, sarcina electrică pe suprafața sferelor se distribuie uniform. b) Să se calculeze capacitatea unui condensator format dintr-una din sferele de mai sus și un plan conductor aflat la $l = 20$ cm de centrul sferei. Să se compare rezultatul cu capacitatea unei sfere de același diametru.

○ 24.13. Două butelii de Leyda de 300 pF și 500 pF, legate în serie, se încarcă la 12 000 V. Să se afle: a) tensiunea pe fiecare butelie; b) sarcina pe armături.

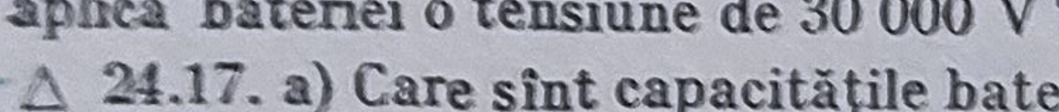


Fig. 24.14.

△ 24.14. Trei plăcuțe metalice circulare și două foi circulare de hîrtie parafinată cu grosimea de 0,1 mm și diametrele de 2, 3, 4, 5 și 6 cm se așază ca în figura 24.14. Să se afle capacitatea sistemului.

○ 24.15. În paralel cu unul din cinci condensatoare identice legate în serie se conectează un voltmetru electrostatic cu capacitatea de două ori mai mică decît a fiecărui condensator. Voltmetrul indică 500 V. Ce tensiune se aplică bateriei?

△ 24.16. Tensiunea de străpungere a preșpanului cu grosimea de 1 mm este 18 000 V. Două condensatoare cu dielectric preșpan cu capacitățile de 1 100 pF și 400 pF se leagă în serie. Va fi străpuns dielectricul dacă se aplică bateriei o tensiune de 30 000 V?

△ 24.17. a) Care sînt capacitățile bateriilor de condensatoare din figura 24.17?

b) Să se arate că, dacă $\frac{C_1}{C_3} = \frac{C_2}{C_4}$ capacitățile celor două baterii sînt egale.

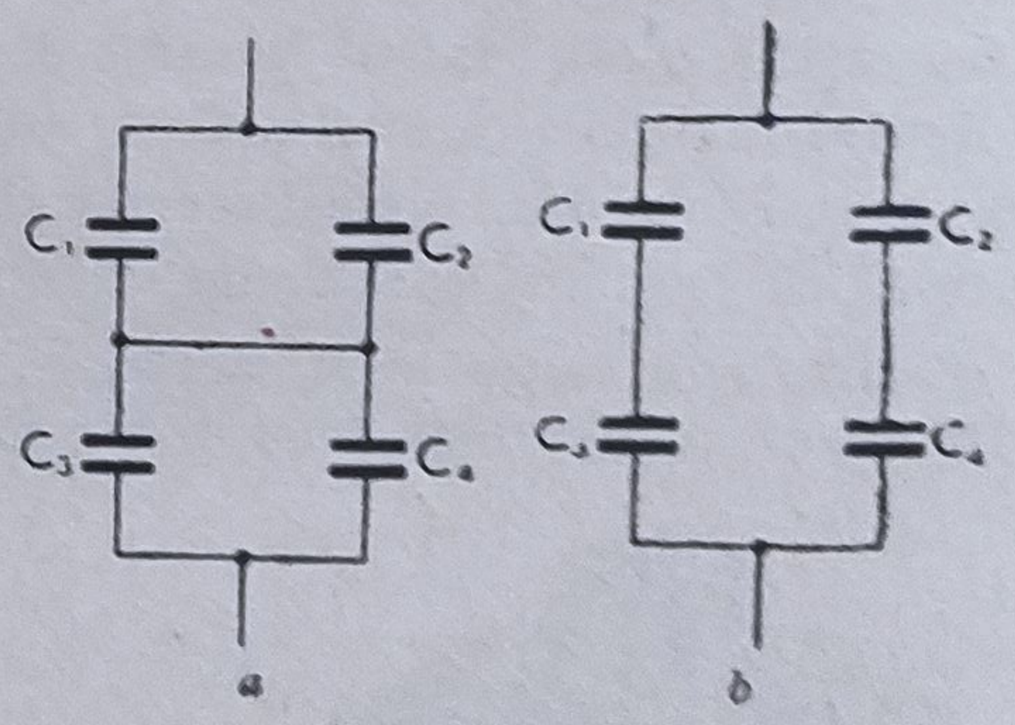


Fig. 24.17.

△ 24.18. Să se afle capacitatea unui condensator plan cu $S = 200$ cm². Între armături se află o placă de sticlă ($d_1 = 1$ mm) acoperită pe ambele părți cu straturi de parafină, fiecare cu grosimea $d_2 = 0{,}2$ mm.

□ 24.19. Să se afle capacitatea condensatoarelor din problema 21.22, dacă lungimea lor este 1 m.

□ 24.20. a) Să se afle capacitatea condensatorului format din cele două conductoare din problema 21.23, dacă lungimea lor este de 9 km. b) Cum se modifică rezultatul dacă unul din conductoare se înlocuiește cu o placă metalică de dimensiuni mari, legată la pămînt de aceeași lungime? Placa este perpendiculară pe planul determinat de cele două conductoare.

○ 24.21. O butelie de Leyda cu $C = 3{,}3 \cdot 10^{-9}$ F se încarcă la $U = 20\,000$ V. Să se afle cantitatea de căldură care se produce la descărcare dacă 10% din energie se disipează sub forma undelor sonore și electromagnetice.

△ 24.22. a) O baterie de n condensatoare legate în serie se încarcă şi, prin intermediul comutatoarelor C (vezi figurile 24.22), fără să se modifice sarcinile condensatoarelor, se trece la legarea în paralel. Cum se va schimba energia

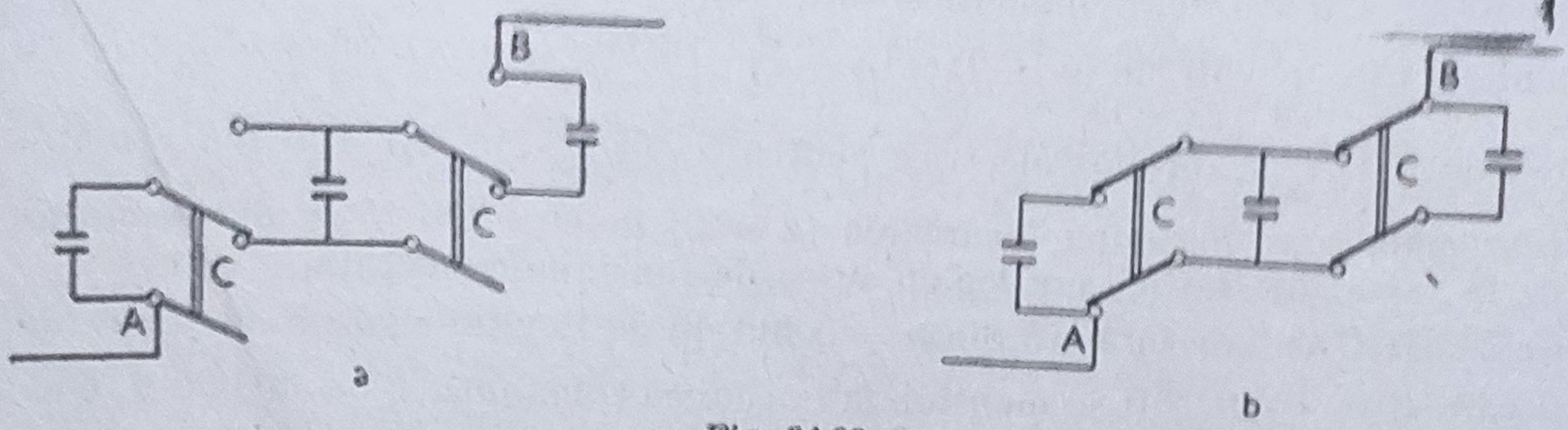


Fig. 24.22.

bateriei în cazurile cînd condensatoarele sînt: 1) identice? 2) diferite? b) Aceeaşi întrebare, dacă se trece de la gruparea în paralel, la gruparea în serie.

△ 24.23. Fie o grupare de condensatoare ca în figura 24.23. Cum se schimbă capacitatea grupării la închiderea comutatorului C?

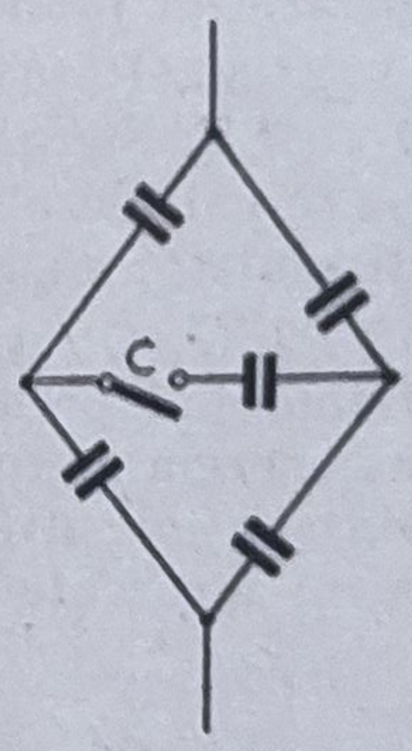


Fig. 24.23.

△ 24.24. Un condensator plan cu sticlă ($d = 2$ mm, $s = 300$ cm^2) se încarcă la $U = 100$ V şi se deconectează de la sursă. Ce lucru mecanic este necesar pentru a scoate placa de sticlă dintre armături? (frecarea se neglijează).

△ 24.25. Între armăturile unui condensator plan, cu aer ($d = 3$ mm, $S = 200$ cm^2), se află o placă metalică de aceeaşi suprafaţă, cu grosimea de 1 mm, izolată de pămînt. Condensatorul se încarcă la $U = 600$ V şi se deconectează de la sursă. Ce lucru mecanic este necesar pentru a scoate placa dintre armături?

○ 24.26. Prin ce diferă fenomenele din următoarele cazuri:
a) Micşorăm capacitatea unui condensator menţinînd sarcina constantă (de exemplu — depărtăm armăturile sau scoatem dielectricul)? b) Micşorăm capacitatea condensatorului menţinînd tensiunea constantă?

△ 24.27. Armătura interioară a unei butelii de Leyda încărcată se pune în contact cu armătura interioară a altei butelii identice neîncărcată. Sarcina se distribuie în mod egal, dar energia sistemului scade la jumătate. De ce?

△ 24.28. Un condensator cu aer se încarcă şi se introduce în petrol. Energia condensatorului scade de $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ ori. Unde „dispare" restul energiei?

○ 24.29. Permitivitatea substanţelor variază apreciabil cu creşterea temperaturii (de regulă scade). Presupunem că un condensator încărcat se răceşte şi energia lui se modifică (de exemplu, scade). Unde „dispare" energia?

△ 24.30. Două butelii de Leyda ($C_1 = 600$ pF şi $C_2 = 1\,000$ pF) sînt legate în serie. Bateria se încarcă la $U = 20$ kV şi apoi buteliile se leagă în paralel. Să se afle lucrul mecanic al forţelor electrice la trecerea în noua grupare.

△ 24.31. Două condensatoare cu aer, identice $\left(C = \frac{8}{9} \cdot 10^{-9}\text{F}\right)$, sînt încărcate la $U = 900$ V. Unul din ele se introduce, încărcat, în petrol, apoi condensatoarele se leagă în paralel. Ce lucru mecanic vor efectua forţele electrice?

□ 24.32. O butelie de Leyda ($C_1 = 600$ pF) se încarcă la $U_1 = 3\,000$ V și altă butelie ($C_2 = 800$ pF) la $U_2 = 4\,000$ V. Să se afle lucrul forțelor electrice la scurtcircuitarea armăturilor interioare.

□ 24.33. Capacitatea condensatorului din problema 24.8 variază între limitele $C_1 = \frac{7}{9} \cdot 10^{-9}$ F ($\alpha = 0$) și $C_2 = \frac{2}{9} \cdot 10^{-10}$ F ($\alpha = \pi$). Să se afle momentele de rotație ale forțelor electrice pentru $\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \pi$. a) Rotirea armăturilor mobile are loc după încărcarea ($\alpha = 0$) la $U = 200$ V și deconectarea de la sursă. b) Rotirea are loc cu sursa de tensiune conectată.

□ 24.34. O baterie formată din $n = 5$ butelii de Leyda legate în serie, având fiecare $C = \frac{4}{9} \cdot 10^{-10}$ F se menține la tensiunea constantă $U = 60\,000$ V. Una din baterii este străpunsă. Să se afle: a) variația energiei bateriei; b) lucrul mecanic al forțelor electrice; c) lucrul mecanic efectuat de sursă.

△ 24.35. Considerînd electronul și protonul atomului de hidrogen ca sarcini punctiforme aflate la $r = 5 \cdot 10^{-9}$ cm, să se afle densitatea de energie a cîmpului electric la jumătatea distanței dintre ei.

△ 24.36. Pe o sferă conductoare cu diametrul de 6 cm se află o sarcină de $2 \cdot 10^{-8}$ C. Sfera se introduce într-un vas cu petrol, departe de pereții vasului. Să se calculeze densitatea de energie a cîmpului electric în punctele aflate la distanțele: a) 2 cm; b) 4 cm de centrul sferei.

□ 24.37. O sarcină q este uniform distribuită în volumul unei sfere de rază R. Cunoscînd permitivitatea ε a sferei și a mediului înconjurător, să se afle: a) energia cîmpului electric în interiorul sferei; b) în exteriorul sferei; c) în tot spațiul; d) variația energiei prin împărțirea sferei încărcate în alte două sfere încărcate egale.

§ 25. Legea lui Ohm

I. Intensitatea curentului electric: $i = \frac{dq}{d\tau}$. Dacă intensitatea este constantă: $I = \frac{q}{\tau}$.

II. Densitatea curentului $j = \frac{di}{ds}$. Dacă densitatea curentului este constantă pe întreaga secțiune S: $j = \frac{I}{S}$.

III. Formula rezistenței unui conductor $R = \rho \frac{l}{s}$ (ρ — rezistivitatea).

IV. Dependența rezistivității de temperatură: $\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$ (α — coeficient termic al rezistenței, ρ_0 rezistivitatea la 0°C).

V. Legea lui Ohm: $I = \frac{U + \sum e}{\sum R}$ (U — tensiunea la capetele porțiunii de circuit care conține tensiuni electromotoare ($\sum e$), $\sum R$ este suma rezistențelor). Pentru circuitul întreg $U = 0$.

VI. Legătura între intensitatea cîmpului E și densitatea curentului $j = gE$; $\left(g = \frac{1}{\rho}\text{ — conductivitatea}\right)$.

VII. Se presupune că elementele galvanice din problemele de la paragrafele 25—27 sînt nepolarizabile.

○ 25.1. Ce cantitate de electricitate se transportă în următoarele cazuri: a) curentul crește uniform de la zero la 3 A în 10 s ? b) curentul scade de la 18 A la zero, iar la fiecare 0,01 s se reduce la jumătate ?

○ 25.2. Care este densitatea de curent în filamentul unei lămpi dacă $I = 0{,}125$ A iar diametrul filamentului este 0,019 mm ?

△ 25.3. Să se afle densitatea curentului într-o diodă dacă $I = 3$ mA, lungimea filamentului și a anodului este 2,5 cm, diametrul filamentului este 0,02 mm iar al anodului 1 cm. (Anodul este cilindric iar filamentul este dispus după axa cilindrului).

○ 25.4. Pentru construcția unui reostat se folosește o bandă de nichelină cu grosimea de 0,5 mm și lățimea de 10 mm. Ce lungime are banda dacă rezistența maximă a reostatului trebuie să fie 0,2 Ω ?

○ 25.5. Un ghem de sîrmă de cupru ($S = 0{,}1$ mm^2) are masa de 0,3 kg. Care este rezistența sîrmei ?

△ 25.6. Într-un mediu nelimitat cu $\rho = 10^4 \Omega$ cm se află o sferă metalică cu diametrul $d = 10$ cm. Care este rezistența sistemului sferă-mediu ? (O asemenea valoare are, de exemplu, împămîntarea unei sfere în solul cu valoarea dată a rezistivității.)

○ 25.7. Este necesar să se ia în considerație în calculul rezistenței conductoarelor, la temperaturi diferite de 0°C, variația dimensiunilor datorită dilatației ?

○ 25.8. Wolframul are $\alpha_W > 0$, cărbunele $\alpha_c < 0$. Care este deosebirea între becurile cu filament de wolfram și de cărbune : a) în privința variației curentului la conectare ?, b) în privința densității curentului în filamentul incandescent ?

○ 25.9. Bobinajul din cupru al unui dinam are la 10°C rezistența de 14,2 Ω. După un timp de funcționare rezistența devine 16,5 Ω . Care este temperatura bobinajului ?

△ 25.10. Să se afle coeficientul termic al rezistenței unui conductor format dintr-un fir de aluminiu de 3 Ω legat în serie cu un fir de fier de 2 Ω.

△ 25.11. O tijă de cărbune este legată în serie cu o tijă de fier de aceeași grosime. Pentru ce raport al lungimilor rezistența totală nu depinde de temperatură ?

△ 25.12. Bobina unui voltmetru este făcută din cupru, iar rezistența adițională din manganină, a cărei rezistivitate nu depinde practic de temperatură. Resortul rezistent este făcut din bronz fosforat. Coeficientul termic al modulului de elasticitate al bronzului fosforat este $\beta = 0{,}0004$ grd^{-1}. Pentru ce raport între rezistența bobinei R și rezistența adițională R_2 indicațiile voltmetrului nu depind de temperatură ?

○ 25.13. În circuitul din figura 25.13 $C_1 = 2\ C_2$ și $R_1 = 3\ R_2$. Rezistența bateriei este neglijabilă, iar t.e.m. a ei este 60 V. Să se afle tensiunile între armăturile condensatoarelor în cazurile: a) C_1 și C_2 închise ; b) C_1 închis, C_2 deschis ; c) C_1 deschis, C_2 închis.

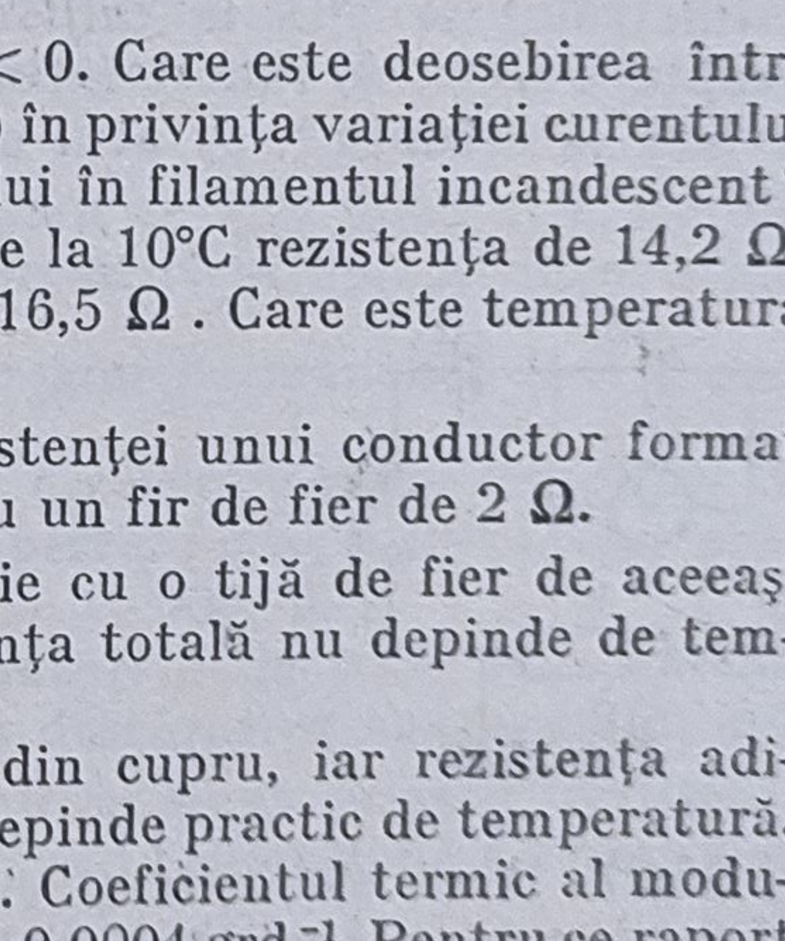


Fig. 25.13.

△ 25.14. Ce tensiune se poate aplica unei bobine cu 1 000 spire de cupru, cu diametrul mediu $d = 6$ cm dacă densitatea maximă permisă a curentului este $j = 2$ A/mm^2 ?

△ 25.15. Un voltmetru legat în serie cu o rezistență $R = 10\,000\ \Omega$ indică $U_1 = 50$ V la o tensiune $U_0 = 120$ V. Dacă se leagă în serie cu altă rezistență R_x el indică 10 V la aceeași tensiune. Să se afle R_x.

○ 25.16. O baterie de 50 elemente legate în serie, avînd fiecare $e = 1{,}4$ V și $r = 0{,}4\ \Omega$ alimentează un circuit cu un rezistor de 90Ω și fire de legătură din fier cu $l = 20$ km și $s = 3$ mm². Să se afle intensitatea curentului.

○ 25.17. La sfîrșitul încărcării unei baterii de acumulatori cu un curent de 3 A, un voltmetru, legat la borne, indică 4,25 V. La începutul descărcării cu un curent de 4 A, voltmetrul indică 3,9 V. Curentul în voltmetru este neglijabil. Să se afle t.e.m. și rezistența interioară a bateriei.

○ 25.18. Tensiunea la capetele unei porțiuni de circuit este 8 V la un curent de 0,5 A. La un curent de 1,5 A tensiunea este de 20 V. a) Ce t.e.m. cuprinde această porțiune de circuit ? b) Care va fi tensiunea dacă intensitatea curentului scade la 0,1 A ?

○ 25.19. Un element galvanic dă un curent $I_1 = 0{,}2$ A la o rezistență exterioară $R_1 = 4\ \Omega$. Dacă $R_2 = 7\ \Omega$, $I_2 = 0{,}14$ A. Ce curent de scurtcircuit dă elementul ?

△ 25.20. Două elemente cu t.e.m. E_1 și E_2, un voltmetru cu rezistență mare și un rezistor de rezistență R se conectează ca în schemă (fig. 25.20). Rezistența R este egală cu rezistența interioară a fiecărui element. Originea scalei voltmetrului se află la mijloc. Cu contactul K deschis, acul deviază la dreapta. Pentru ce raport între E_1 și E_2 la închiderea contactului K : a) acul deviază la dreapta ?, b) acul nu deviază ?, c) acul deviază la stînga ?

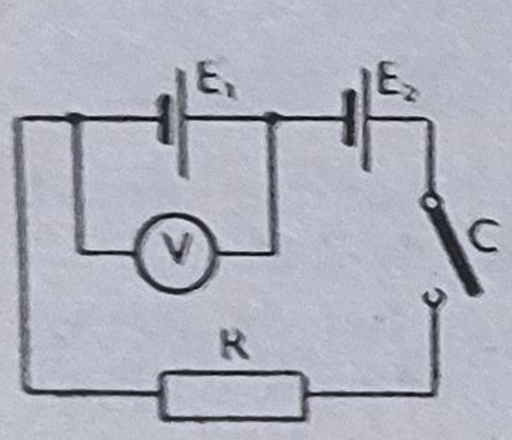


Fig. 25.20.

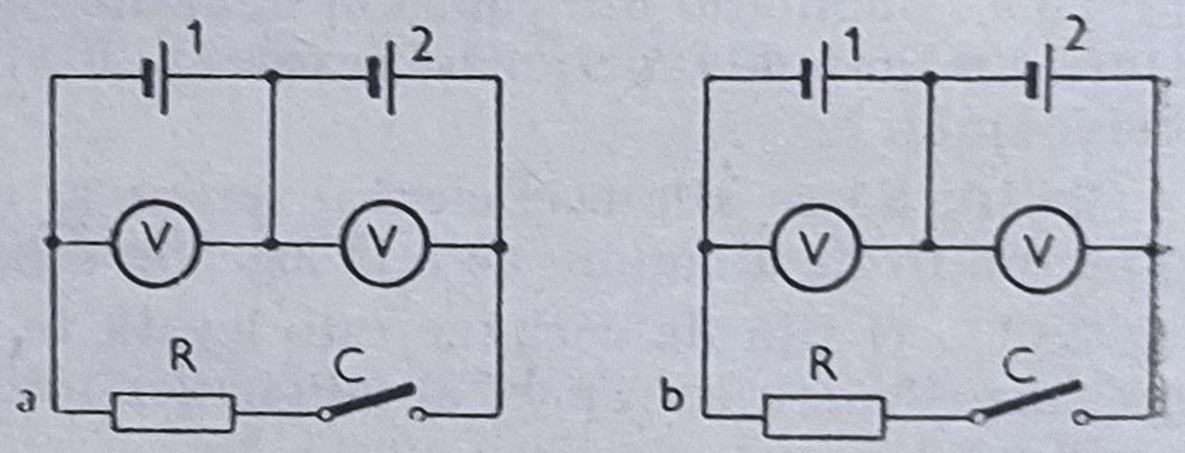


Fig. 25.21.

△ 25.21. Două elemente (1 și 2), două voltmetre cu rezistență mare și cu originea scalelor la mijloc și rezistorul de rezistență R se leagă ca în prima schemă din figura 25.21. Cu contactul C deschis, voltmetrele indică 1,8 V și 1,4 V, iar acele deviază la dreapta. Prin închiderea contactului C acele deviază tot la dreapta, indicînd 1,4 V și 0,6 V. Ce vor indica voltmetrele la conectarea după a doua schemă, cu contactul C închis ?

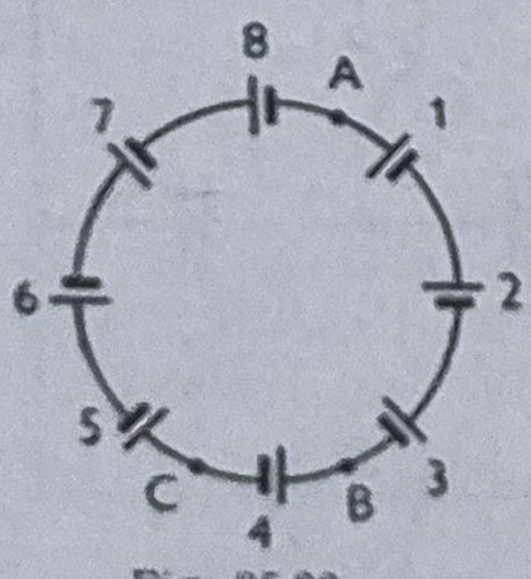


Fig. 25.22.

△ 25.22. Mai multe elemente identice sînt conectate ca în schemă (fig. 25.22). Rezistența firelor de legătură este neglijabilă. a) Care este diferența de potențial între două puncte oarecare, de exemplu între A și B sau între A și C ? b) Aceeași întrebare dacă t.e.m. sînt diferite iar rezistențele interioare sînt direct proporționale cu t.e.m. ? c) Cum se modifică răspunsul la întrebarea a) dacă două elemente alăturate sînt legate în opoziție ?

△ 25.23. Ce sarcini apar pe doi electrozi plani scufundați într-o soluție de sulfat de cupru la trecerea unui curent $I = 0{,}5$ A dacă rezistivitatea soluției este $\rho = 50\ \Omega \cdot \text{cm}$? Permitivitatea soluției este $\varepsilon = 7{,}1 \cdot 10^{-10} \frac{\text{F}}{\text{m}}$.

△ 25.24. Liniile de forță ale curentului electric în conductoare coincid cu liniile de curent. Cum se explică faptul că într-un strat subțire de electrolit liniile de curent de la doi mici electrozi sferici sînt conținute în acest strat în timp ce liniile de forță ale celor două sarcini, de semn contrar, se orientează în toate direcțiile ?

△ 25.25. Un curent circulă printr-un conductor cu secțiuni diferite (vezi figura 25.25). Sînt egale intensitățile cîmpului în secțiunile mici și mari ? Cum se explică rezultatul ?

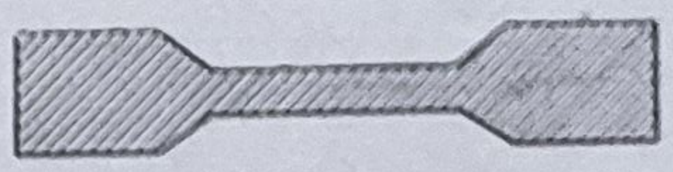


Fig. 25.25.

△ 25.26. Cum se distribuie liniile de forță în interiorul unui tub de sticlă, curbat, cu un electrolit prin care circulă un curent ? Dar printr-un conductor înnodat ?

□ 25.27. (În prealabil să se rezolve problema 21.23.) Într-o soluție de $CuSO_4$ ($\rho = 40\ \Omega\text{cm}$) circulă un curent între două conductoare de cupru paralele, cu raza de 4 mm aflate la distanța de 13 cm. Conductoarele se află sub tensiunea $U = 12$ V. Să se calculeze densitatea curentului : a) la mijlocul distanței dintre conductoare ; b) într-un punct situat la 10 cm de fiecare conductor ; c) să se afle intensitatea curentului dacă lungimea conductoarelor este 15 cm, egală cu adîncimea stratului de soluție, iar dimensiunile vasului sînt foarte mari.

□ 25.28. Între armăturile unui condensator plan se află două straturi dielectrice de grosimi d_1, d_2, permitivități ε_1, ε_2 și rezistivități ρ_1, ρ_2. Între armături se aplică o tensiune U. a) Să se arate că în regim permanent, dacă $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \neq \frac{\rho_2}{\rho_1}$ la contactul celor doi dielectrici trebuie să se găsească sarcini libere. b) Să se afle valorile acestor sarcini pentru sticlă și petrol : $\rho_1 = 2 \cdot 10^{13}\ \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_2 = 5 \cdot 10^{14}\ \Omega \cdot \text{cm}$, dacă $d_1 = d_2 = 3$ mm și $U = 15\,000$ V. c) Să se explice de ce condensatoarele cu straturi dielectrice dau „sarcină remanentă“ (care apare după cîtva timp de la descărcarea condensatorului).

△ 25.29. Un acumulator cu $E = 2$ V și $r \approx 0$ se leagă printr-o rezistență $R = 1\,000\ \Omega$ la armăturile unui condensator ($C = 10\ \mu\text{F}$). După cît timp tensiunea dintre armături va fi 1,98 V ?

△ 25.30. Un condensator plan cu hîrtie parafinată ($\varepsilon_2 = 2$) păstrează după $t = 10$ min sarcina $q = 0{,}1\ q_0$ (q_0 — sarcina inițială). Presupunînd că scurgerea s-a produs numai prin hîrtie, să se afle rezistivitatea ei.

§ 26. Curenți ramificați

I. Rezistența echivalentă la gruparea în paralel, $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_k}$.

II. Legile lui Kirchhoff : a) Într-un nod de rețea $\sum I_k = 0$; b) Într-un circuit închis : $\sum E_k = \sum I_k R_k$.

III. Rezistența echivalentă a unei rețele se află prin mai multe metode. Una din acestea constă în următoarele : potențialele bornelor rețelei se notează cu V_0 și V_1 ; potențialele nodurilor interioare ale rețelei se determină din urmă-

torul sistem de ecuații liniare $\sum_k \frac{V_i - V_k}{R_{ik}} = 0$. Rezistența căutată este dată de $R = \left\{\sum_k \frac{V_0 - V_k}{R_{0k}}\right\}^{-1} (V_0 - V_1)$.

IV. Calculul unei rețele care conține și surse de t.e.m. se face în mod analog, dar ecuațiile prin care se găsesc potențialele nodurilor interioare au forma $\sum \frac{V_i - V_k + E_{ik}}{R_{ik}} = 0$.

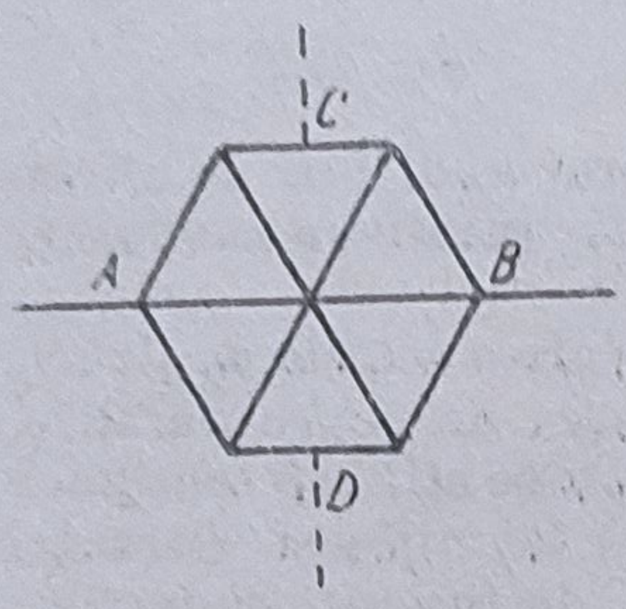


Fig. 26.2.

○ 26.1. Un consumator conține 20 becuri cu $R_1 = 48\ \Omega$ fiecare și 100 becuri cu $R_2 = 288\ \Omega$ fiecare. Becurile sînt legate în paralel. Să se afle rezistența electrică a consumatorului.

○ 26.2. Să se afle rezistența electrică a rețelei din figura 26.2 dacă fiecare latură are rezistența de 1 Ω în cazurile cînd : a) curentul circulă între A și B ; b) curentul circulă între C și D.

△ 26.3. În schemele din figura 26.3 trebuie determinate rezistențele R astfel, încît ampermetrul să indice același curent pentru cazurile: C_1 închis, C_2 deschis și C_1 deschis, C_2 închis. Rezistențele sursei și ampermetrului se neglijează.

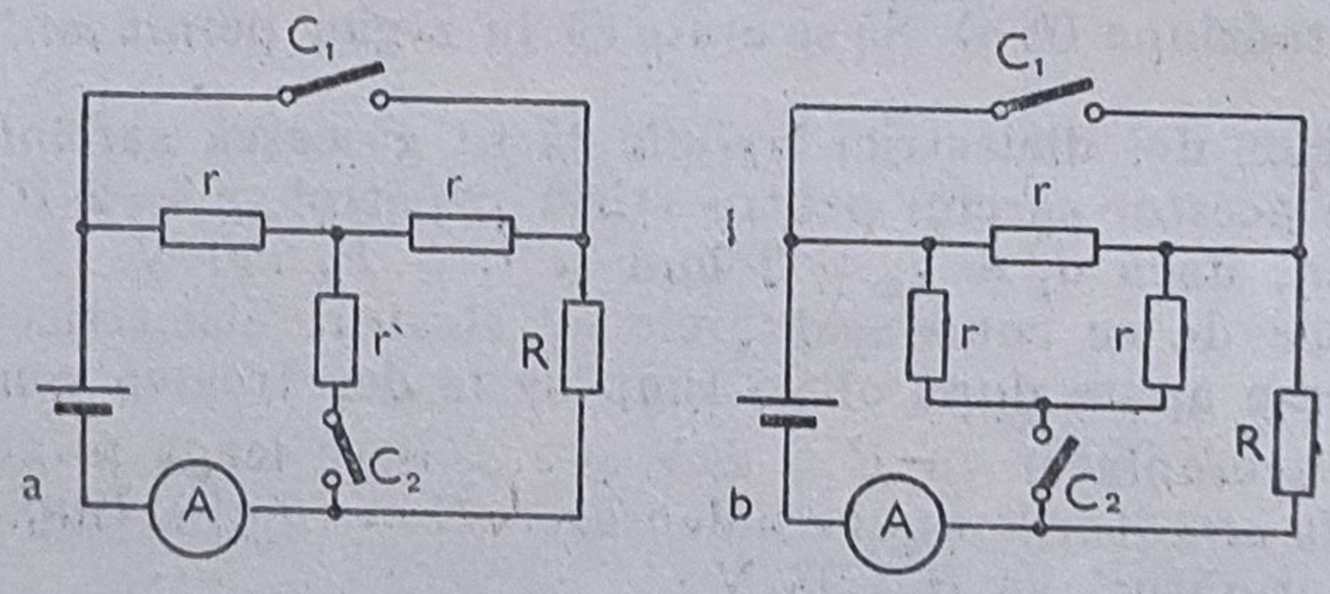


Fig. 26.3.

○26.4. Prin șuntarea unui galvanometru cu rezistența $R = 290\ \Omega$ se măsoară curenți de 10 ori mai intenși. Ce rezistență trebuie legată în serie cu galvanometrul șuntat pentru ca rezistența totală să rămînă neschimbată ?

△ 26.5. Rezistența R se măsoară cu voltmetrul și ampermetrul legate ca în schema 26.5. Ampermetrul indică $I = 0{,}32$ A, voltmetrul $U = 9{,}6$ V. Rezistența ampermetrului este $R_A = 0{,}03\ \Omega$. Care este eroarea relativă x care se face dacă se omite rezistența ampermetrului ? b) Aceeași întrebare dacă $I = 7$ A, $U = 2{,}1$ V.

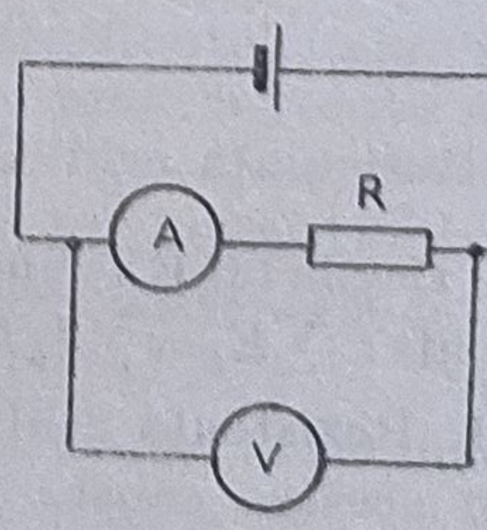


Fig. 26.5.

△ 26.6. a) Rezistența R se măsoară cu voltmetrul și ampermetrul legate ca în schema 26.6. Ampermetrul indică $I = 2{,}40$ A, voltmetrul $U = 7{,}20$ V. Rezistența voltmetrului este $R_V = 1\,000\ \Omega$. Care este eroarea relativă x care se face dacă se omite curentul prin voltmetru? b) Aceeași întrebare dacă $I = 24$ mA, $U = 7{,}2$ V.

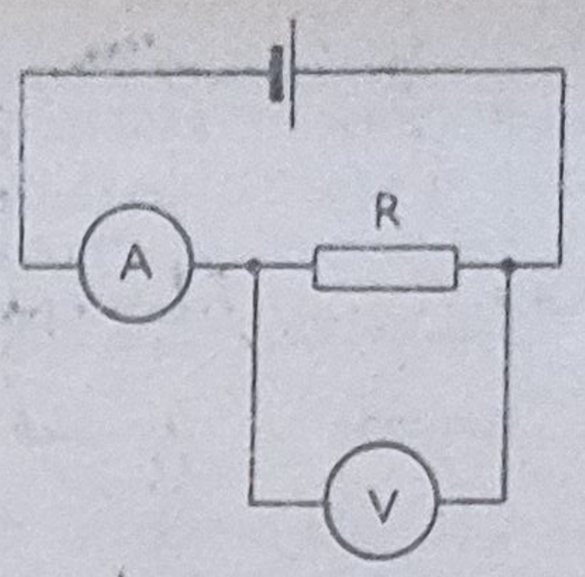


Fig. 26.6.

△ 26.7. La conectarea aparatelor în montajul amonte (fig. 26.5) se măsoară $I_1 = 2{,}06$ A, $U_1 = 49{,}6$ V, iar în montajul aval (fig. 26.6) $I_2 = 1{,}94$ A, $U_2 = 50$ V. Să se afle rezistența R. Tensiunea bateriei se consideră constantă.

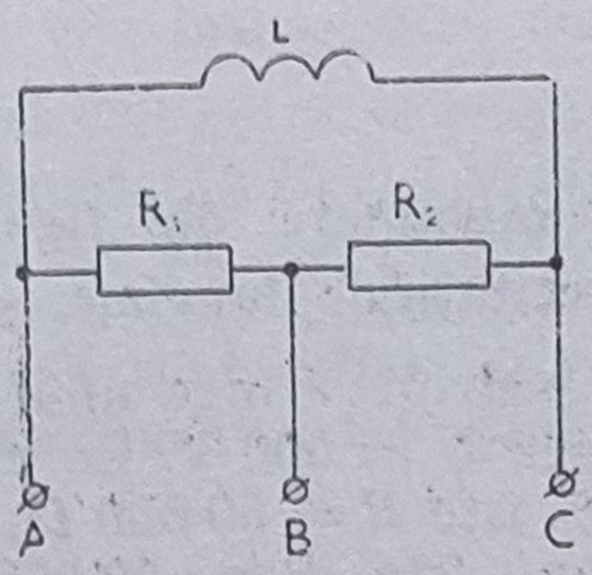


Fig. 26.8.

△ 26.8. În figura 26.8 este reprezentată bobina L a unui ampermetru cu două șunturi R_1 și R_2. Conectînd ampermetrul la bornele A și B valoarea unei diviziuni de pe scală este 0,1 A, iar la bornele A și C 0,02 A. Care este valoarea unei diviziuni la conectarea la bornele B și C?

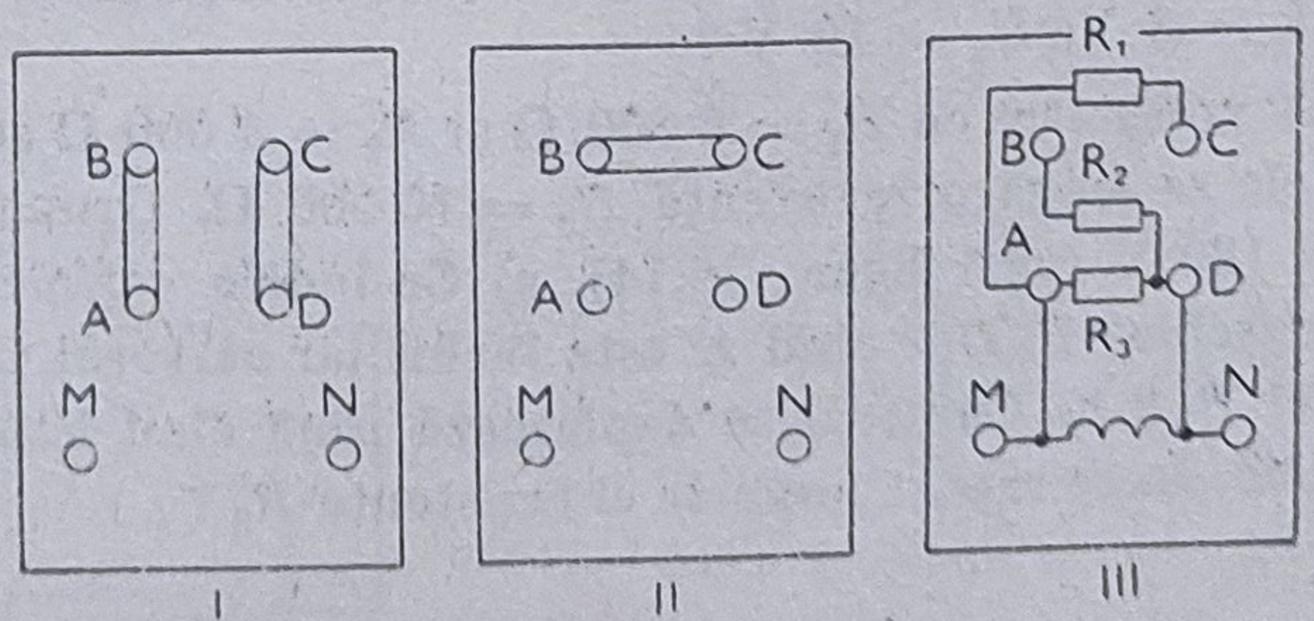


Fig. 26.9.

△ 26.9. Pe cutia unui ampermetru, în afara bornelor M și N de conectare în circuit se mai află patru borne (vezi figura 26.9). În indicațiile de utilizare se precizează modurile de scurtcircuitare pentru $I_{1max} = 3$ A (26 — 9 I) și pentru $I_{2\,max} = 1{,}5$ A (26 — 9 II). Schema ampermetrului este dată în figura 26 — 9 III, iar $R_1 = R_2$. a) Care este I_{max} măsurabilă fără scurtcircuitarea bornelor? b) Care trebuie să fie raportul $n = \frac{R_1}{R_2}$ dacă $I_{max} = 1{,}2$ A, fără scurtcircuitarea bornelor?

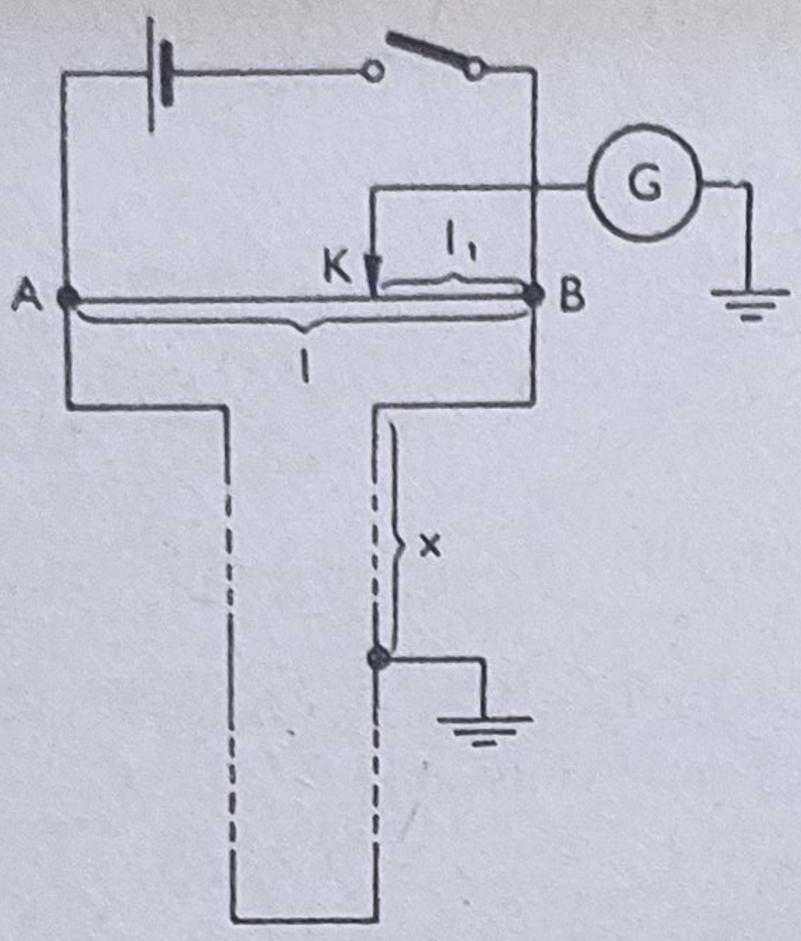


Fig. 26.10.

○ 26.10. Pentru determinarea locului unde un conductor are scurgere la pămînt se poate folosi instalația a cărei schemă este dată în figura 26.10. Să se găsească locul respectiv dacă acul galvanometrului rămîne la zero, pentru poziția cursorului K la distanța $l_1 = 41$ cm de capătul B. Firul AB are 100 cm. Linia este bifilară și are lungimea de 7,8 km.

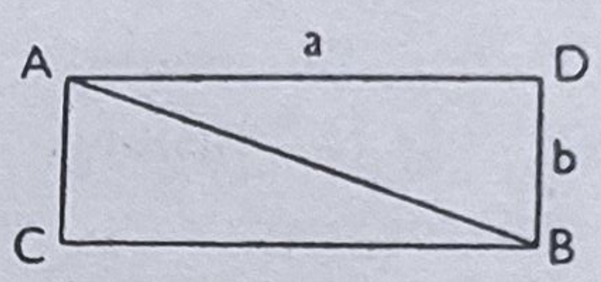


Fig. 26.11.

□ 26.11. Fie rețeaua dreptunghiulară din figura 26.11 cu laturile a și b. Cunoscînd rezistența γ a unității de lungime, să se afle: a) R_{AB}; b) R_{CD}.

△ 26.12. Un om stînd pe pămînt atinge unul din conductoarele unei linii electrice aflată sub tensiunea $U = 600$ V. Ce curent va trece prin corpul său dacă rezistența omului este $R = 50\,000\ \Omega$, rezistența izolației față de pămînt a conductorului atins este $R_1 = 50\,000\ \Omega$ iar a izolației față de pămînt a celuilalt conductor, $R_2 = 400\,000\ \Omega$? Rezistența pămîntului se neglijează.

△ 26.13. Pentru a determina rezistențele izolațiilor la pămînt a două conductoare aflate sub tensiune, se măsoară cu un voltmetru de rezistență R mare următoarele tensiuni: 1) între cele două conductoare (U); 2) între primul conductor și pămînt (U_1); 3) între al doilea conductor și pămînt (U_2). Care sînt rezistențele R_1 și R_2 ale celor două izolații, dacă $R = 20\,000\ \Omega$, $U = 120$ V, $U_1 = 8$ V, $U_2 = 10$ V?

△ 26.14. Două voltmetre cu $R_1 = 6\,000\ \Omega$ și $R_2 = 4\,000\ \Omega$ se leagă în serie. În paralel cu ele se leagă o rezistență $R_3 = 10\,000\ \Omega$. Gruparea se leagă la tensiunea $U = 180$ V (vezi figura 26.14). a) Ce indică voltmetrele cînd contactul K este deschis? b) Dar cînd K este închis iar cursorul C se află la mijlocul rezistenței R_3? c) Cursorul se deplasează pînă cînd indicațiile voltmetrelor devin egale. În ce raport împarte el rezistența R_3?

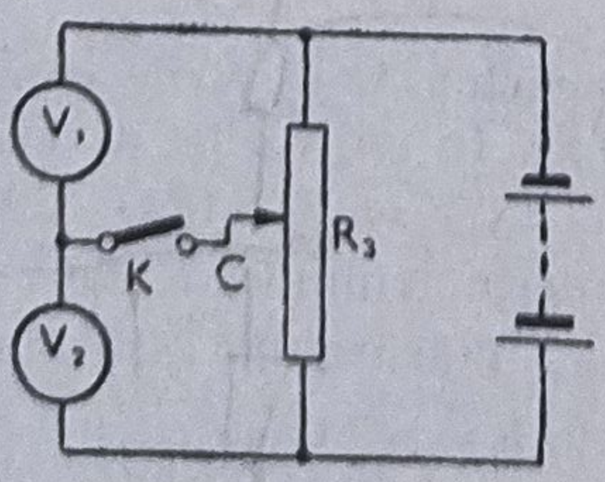


Fig. 26.14.

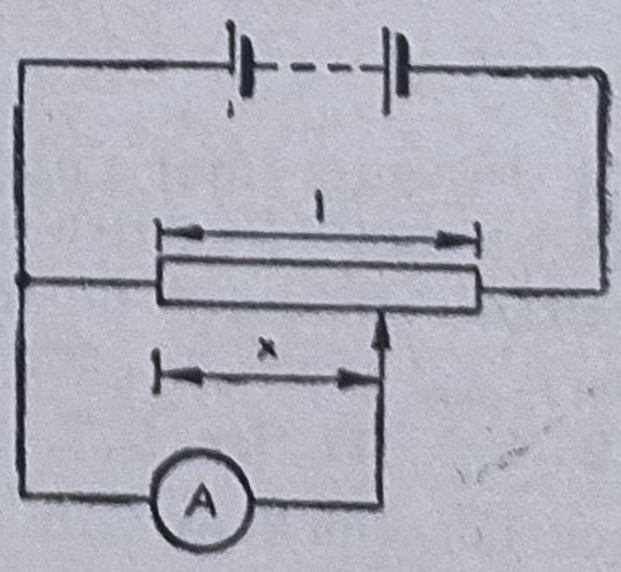


Fig. 26.15.

△ 26.15. În figura 26.15 este reprezentată schema unui potențiometru cu ajutorul căruia se poate varia tensiunea U, aplicată unui aparat A. Tensiunea dată de baterie este U. Notînd cu r rezistența aparatului și R rezistența potențiometrului să se exprime tensiunea U, în funcție de distanța x a cursorului la unul din capete. Se vor considera cazurile : a) $x = 0$; b) $x = l$; c) $x = \frac{l}{2}$; $r \gg R$.

○ 26.16. Un generator cu t.e.m. de 12 V, cu rezistența interioară de 0,2 Ω dă un curent constant și încarcă o baterie de acumulatori cu t.e.m. de 10 V și cu rezistența interioară de 0,6 Ω. În paralel cu bateria se leagă un bec cu rezistența de 3 Ω. Să se afle intensitatea curentului în bateria de acumulatori și în bec.

○ 26.17. Trei elemente galvanice cu $\mathcal{E}_1 = 1{,}3$ V, $\mathcal{E}_2 = 1{,}4$ V, $\mathcal{E}_3 = 1{,}5$ V cu rezistențele interioare de 0,3 Ω fiecare, se leagă în paralel. Rezistența exterioară este 0,6 Ω. Să se afle intensitatea curentului în fiecare element.

○ 26.18. Trei elemente și trei voltmetre se leagă ca în schema din figura 26.18. Cunoscînd $E_1 = 1$ V, $E_2 = 2$ V, $E_3 = 1{,}5$ V, $R_{V_1} = 2\,000$ Ω, $R_{V_2} = 3\,000$ Ω, $R_{V_3} = 4\,000$ Ω și neglijînd rezistențele interioare ale elementelor, să se afle : a) care sînt indicațiile voltmetrelor ?, b) care este tensiunea între nodurile rețelei ?

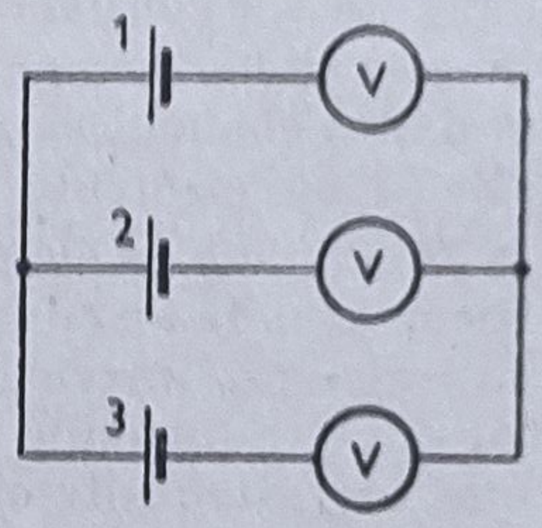


Fig. 26.18.

○ 26.19. Ce rezistențe interioare au trei elemente cu t.e.m. 1,6 V, 1,4 V 1,1 V dacă, legate în paralel, debitează pe o rezistență exterioară de 1 Ω curenții de 0,8 A ; 0,6 A și — 0,2 A ?

○ 26.20. Trei elemente ($E_1 = 1{,}3$ V, $E_2 = 1{,}5$ V, $E_3 = 2$ V, $r_1 = r_2 = r_3 = 0{,}2$ Ω) sînt legate ca în figura 26.20. Rezistența R are 0,55 Ω. Să se afle curenții I_1, I_2 și I_3.

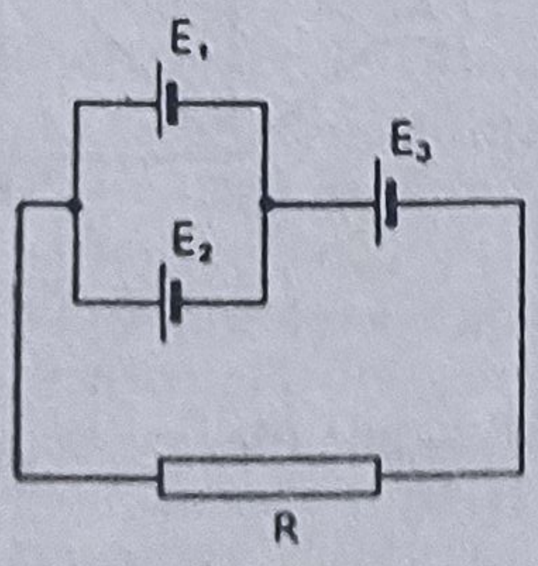


Fig. 26.20.

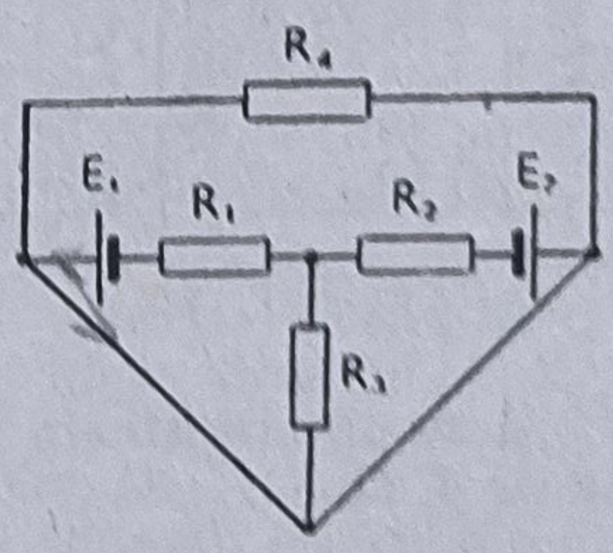


Fig. 26.21.

△ 26.21. În schema din figura 26.21 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1\,000$ Ω, $E_1 = 1{,}5$ V, $E_2 = 1{,}8$ V. Să se afle curenții din rețea.

△ 26.22. Pentru măsurarea diferenței de temperaturi cu ajutorul unui termoelement se poate folosi schema din figura 26.22. Variind rezistența R_1 a reostatului, se aduce acul galvanometrului la zero. Să se afle diferența de temperatură între sudurile termoelementelor 1 și 2 știind că reostatul are

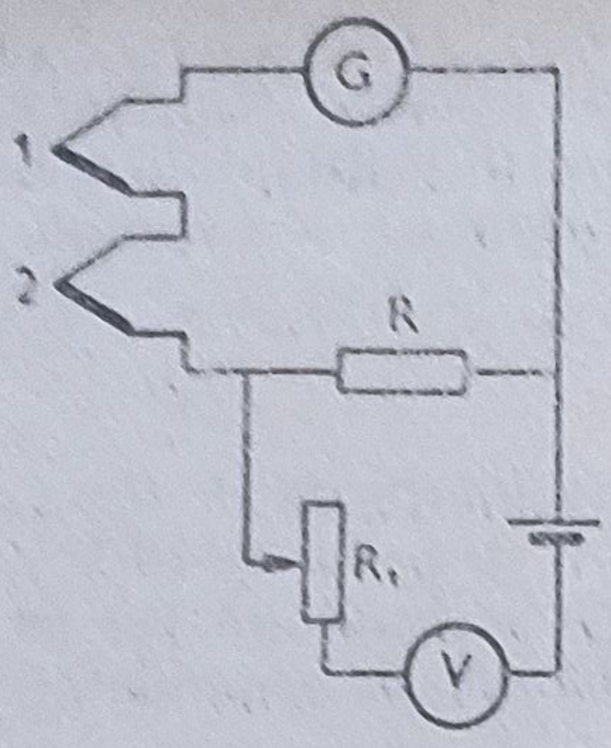


Fig. 26.22.

rezistență mare, $R = 0{,}1\ \Omega$, $R_V = 50\ \Omega$, iar la poziția de zero a acului galvanometrului voltmetrul indică $U = 0{,}07$ V. Coeficientul termoelectric al termocuplului cupru-constantan este $4{,}4 \cdot 10^{-5}$ V/grd.

△ 26.23. O baterie formată din 400 elemente cu $\mathcal{E} = 2$ V și $r = 0{,}1\ \Omega$ fiecare debitează curent pe o rezistență exterioară $R = 10\ \Omega$. Să se constituie o baterie formată din n_1 grupări legate în paralel cuprinzînd fiecare n_2 elemente legate în serie și să se determine n_1 și n_2 astfel încît intensitatea curentului debitat să fie maximă.

△ 26.24. Două elemente cu t.e.m. E_1 și E_2 și rezistențele interioare r_1 și r_2, legate în paralel, dau un curent I pe o rețea de rezistență R. a) Să se afle intensitățile curenților I_1, I_2 și I în funcție de E_1, E_2, r_1, r_2 și R. b) Să se afle t.e.m. E și rezistența interioară r a unui element echivalent cu bateria dată. Se vor considera cazurile : 1) $E_1 = E_2$ și 2) $r_1 = r_2$. c) Să se afle curenții în cele două elemente la scurtcircuitarea bateriei. d) Care este condiția ca al doilea element să nu debiteze curent ? e) Pentru ce rezistență R curenții în cele două elemente sînt egali ? Este totdeauna posibilă această situație ?

△ 26.25. Fie un element Grenet a cărui polarizare se poate considera eliminată. Elementul dă un curent printr-un ampermetru cu rezistență mică în comparație cu rezistența interioară a elementului. Cum se modifică indicația ampermetrului dacă se introduc în soluție doi electrozi de zinc și cărbune, de dimensiuni mici, legați printr-un conductor de rezistență mică ? (vezi figura 26.25).

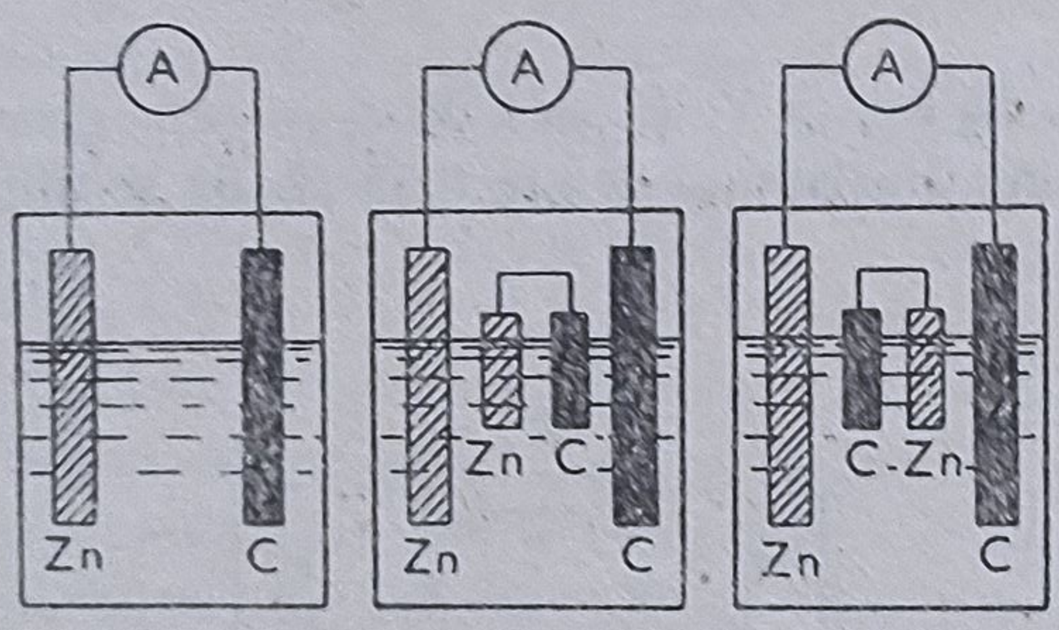


Fig. 26.25.

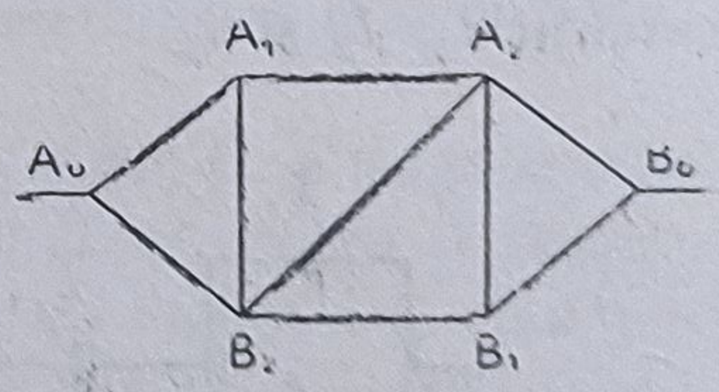


Fig. 26.26.

△ 26.26. Să se afle rezistența rețelei din figura 26.26. Fiecare segment are rezistența de 1 Ω.

§ 27. Energia și puterea curentului electric

I. Lucrul mecanic efectuat de forțele electrice pe o porțiune de circuit, în timpul t : $L = \int_0^t ui\,dt$. Dacă intensitatea curentului și tensiunea sînt constante : $L = UIt$.

I. Puterea curentului electric $P = UI$.

III. Cantitatea de căldură produsă de curentul electric $Q = I^2Rt$.

IV. Cantitatea de căldură care se degajă într-un cm^3 dintr-un conductor $q = j^2\rho t$.

○ 27.1. În figură se indică două moduri de conectare a wattmetrului. Să se arate că în schema a) indicația wattmetrului este mai mare decît mărimea măsurată cu puterea consumată în bobina groasă, iar în schema b) cu puterea consumată în bobina subțire.

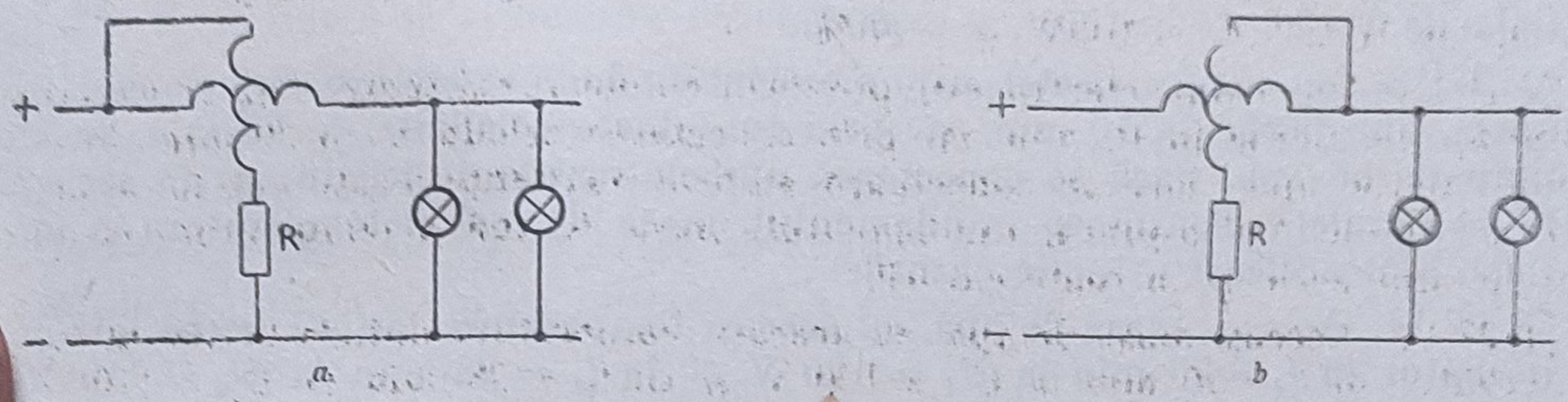


Fig. 27.1.

○ 27.2. Cîte becuri de 110 V, 300 W pot fi instalate într-o clădire, dacă legătura la rețea se face prin conductoare de cupru cu lungimea totală $l = 100$ m și secțiunea $S = 9$ mm²; tensiunea rețelei fiind $U_0 = 122$ V?

○ 27.3. Să se afle masa m de cupru a unui conductor cu lungimea $l = 5$ km necesar pentru conectarea la rețeaua cu $U_0 = 240$ V a unui consumator cu $P = 60$ kW, dacă este permisă o cădere de tensiune de 8%.

○ 27.4. Cum variază temperatura unui conductor de cupru dacă în 0,5 s trece un curent cu densitatea de 9 A/mm²? Toată cantitatea de căldură revine conductorului.

△ 27.5. a) O baterie are $n = 5$ elemente legate în serie cu $\varepsilon = 1{,}4$ V și $r = 0{,}3\ \Omega$ fiecare. Pentru ce curent puterea utilă a bateriei este de 8 W? b) Care este puterea utilă maximă?

△ 27.6. Curentul de la rețeaua de 120 V alimentează un cuptor electric cu puterea de 600 W. Care este rezistența cuptorului dacă legătura la rețea se face cu conductoare de cupru cu $l = 49$ m, $S = 2{,}5$ mm²?

△ 27.7. Să se afle lucrul mecanic al curentului pe o porțiune de circuit fără t.e.m. cu $R = 12\ \Omega$ dacă în $t = 5$ s curentul a crescut uniform de la $I_1 = 2$ A, la $I_2 = 10$ A.

○ 27.8. Să se afle lucrul mecanic al forțelor electrice și cantitatea de căldură degajată într-o secundă: a) într-un conductor parcurs de un curent de 1 A; tensiunea între capetele conductorului este 2 V; b) într-un acumulator care se încarcă cu un curent de 1 A; tensiunea la bornele acumulatorului este 2 V, t.e.m. a acumulatorului este 1,3 V; c) într-o baterie de acumulatori care dă un curent de 1 A; tensiunea la borne este 2 V; tensiunea electromotoare a acumulatorului este 2,6 V.

△ 27.9. O baterie de acumulatori cu t.e.m. $E = 12$ V se încarcă la tensiunea $U = 12{,}5$ V cu un curent $I_1 = 3$ A. Considerînd că rezistența interioară este aceeași la încărcare și la descărcare și că el dă $\eta_0 = 70\%$ din cantitatea de electricitate cu care s-a încărcat, să se afle randamentul bateriei: a) la descărcare cu $I_2 = 3$ A; b) la descărcare cu $I_3 = 0{,}3$ A.

△ 27.10. Printr-un conductor cu $R = 6\ \Omega$ a trecut o cantitate de electricitate $q = 30$ C. Să se afle cantitatea de căldură degajată în conductor în cazurile

cînd: a) în timpul $t = 24$ s a trecut un curent constant; b) curentul a scăzut uniform la zero în $t = 24$ s; c) curentul a scăzut la zero micşorîndu-se la jumătate la fiecare $t = 24$ s.

○ 27.11. Rezistenţa unui fierbător este 16 Ω. După cît timp va ajunge la fierbere o masă de 600 g apă cu $t_1 = 10°C$, dacă $\eta = 60\ \%$ şi $U = 120$ V?

○ 27.12. Cîte spire de nichelină cu diametrul de 0,2 mm trebuie înfăşurate pe un cilindru de porţelan cu diametrul de 1,5 cm pentru a construi un fierbător cu care în 10 min se pot aduce la fierbere 120 g apă cu temperatura iniţială de 10°C? $U = 100$V, $\eta = 60\ \%$.

○ 27.13. Un ceainic electric este prevăzut cu două rezistenţe. Prin conectarea uneia, apa fierbe în 10 min, iar prin conectarea celeilalte, în 20 min. În cît timp fierbe apa, dacă se conectează ambele rezistenţe legate: a) în serie?, b) în paralel? Tensiunea, randamentul, masa de apă şi temperatura ei iniţială, sînt aceleaşi în toate cazurile.

□ 27.14. Aceeaşi masă de apă, cu aceeaşi temperatură iniţială fierbe într-un fierbător în $t_1 = 20$ min la $U_1 = 120$ V şi în $t_2 = 28$ min la $U_2 = 110$ V. Presupunînd, pentru simplificare, că pierderile de căldură sînt proporţionale cu timpul de încălzire, să se afle după cît timp t_3 fierbe apa la $U_3 = 100$ V.

△ 27.15. Un element cu rezistenţa interioară r se leagă succesiv la două rezistenţe R_1 şi R_2. Să se afle relaţia dintre R_1 R_2 şi r dacă, în acelaşi timp, a) în R_1 şi R_2 se degajă aceeaşi cantitate de căldură; b) în rezistenţa mai mică se degajă o cantitate de căldură mai mare.

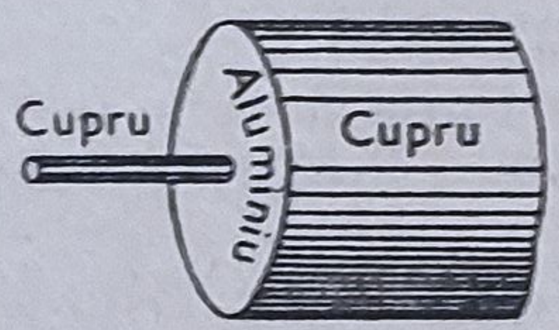


Fig. 27.16.

△ 27.16. Un curent trece dintr-un conductor de cupru cu $r = 2$ mm într-un conductor tubular de cupru cu $R = 4$ cm, printr-o foiţă de aluminiu cu grosimea $d = 0{,}1$ mm. Ce cantitate de căldură se degajă în foiţa de aluminiu în $t = 0{,}5$ s dacă $I = 5$ A? (vezi figura).

□ 27.17. a) La capetele unui fir de plumb cu lungimea $l = 5$ cm şi diametrul $d = 0{,}2$ mm, se aplică o tensiune $U = 100$ V. În cît timp ajunge firul la punctul de topire? (327°C). Se neglijează pierderile de căldură în mediul exterior şi variaţia căldurii specifice a plumbului cu temperatura. Temperatura iniţială este 0°C. b) Aceeaşi întrebare dacă $I = 50$ A.

□ 27.18. Firul de plumb cu diametrul $d_1 = 1$ mm dintr-o siguranţă fuzibilă se topeşte pentru un curent mai îndelungat cu o intensitate de cel puţin $I_1 = 8$ A. Să se calculeze pentru ce curent I_2 se topeşte o sîrmă cu diametrul $d_2 = 2$ mm. Se va considera că pierderile de căldură sînt direct proporţionale cu suprafaţa firului.

□ 27.19. Un bec electric vidat cu $P_1 = 50$ W construit pentru $U_1 = 120$ V are diametrul filamentului $d_1 = 0{,}044$ mm şi lungimea $l = 612$ mm. Ce diametru d_2 şi ce lungime l_2 trebuie să aibă filamentul altui bec cu $P_2 = 15$ W, $U_2 = 220$ V? Temperatura de incandescenţă este aceeaşi în ambele cazuri. Filamentul se consideră de formă cilindrică.

□ 27.20. Pentru încălzirea filamentului unui tub electronic este necesară o tensiune de 3,8 V. Curentul de încălzire este de 0,65 A. În urma vaporizării metalului diametrul filamentului se micşorează cu 10%. Cît trebuie să fie tensiunea pentru a menţine aceeaşi temperatură de incandescenţă? Ce curent circulă în acest caz?

□ 27.21. Știind că scăderea temperaturii unui conductor încălzit este direct proporțională cu diferența de temperatură dintre conductor și aer și admițînd că variația rezistenței cu temperatura este neglijabilă, să se arate că alungirea unui conductor încălzit prin trecerea curentului este direct proporțională cu pătratul intensității curentului.

□ 27.22. În figură se reprezintă schema unui wattmetru termic. Conductorul subțire AB, încălzit prin trecerea curentului, trece peste scripetele C (acționat în sus de un resort nereprezentat pe figură). Să se arate că unghiul de rotație al acului indicator este direct proporțional cu puterea P a curentului.

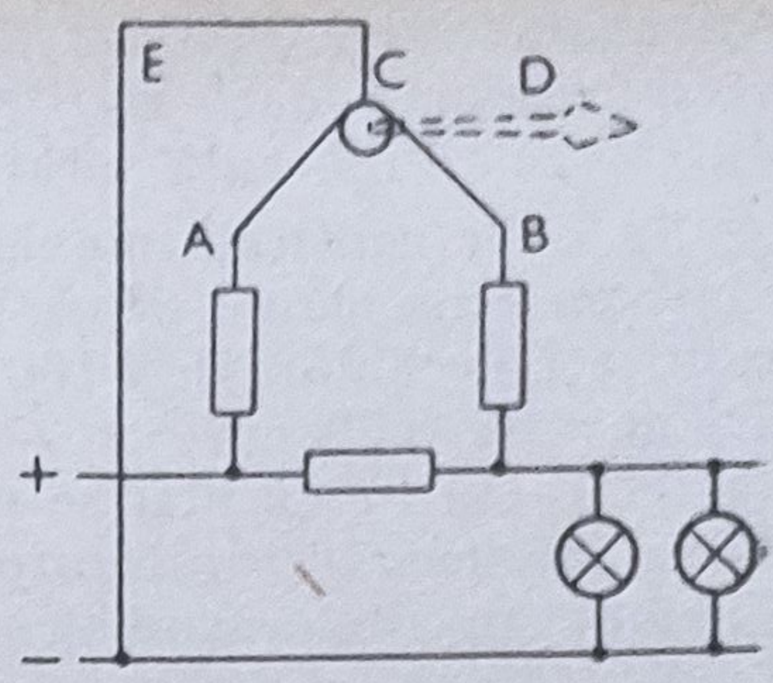


Fig. 27.22.

§ 28. Fenomene electrice în metale

I. Într-o primă aproximație* vom admite că electronilor liberi din metale li se aplică relațiile din teoria cinetică a gazelor.

II. Densitatea curentului într-un metal $j = n \cdot e \cdot v$, unde n este numărul electronilor liberi din metal în unitatea de volum, e sarcina electronului, v viteza medie a mișcării ordonate a electronilor.

III. Între două metale A și B avînd aceeași temperatură, legate între ele direct sau prin intermediul altor metale, există o diferență de potențial de contact E_{AB} care depinde numai de natura metalelor și de temperatură și nu depinde de natura și temperatura metalelor intermediare.

IV. La trecerea printr-un circuit a unor purtători de sarcină q, în afară de căldură disipată prin efectul Joule, la joncțiunea diferitelor metale precum și între două secțiuni cu temperaturi diferite se disipă sau se absoarbe o căldură Eq unde E este t.e.m. corespunzătoare.

V. Densitatea curentului de emisie a electronilor în vid (formula lui Dushmann): $j = AT^2 e^{-\frac{\varphi_e}{kT}}$ unde A este o constantă; φ_e este lucrul mecanic de extracție a electronului din metal, k constanta lui Boltzmann, T temperatura.

△ 28.1. Să se afle impulsul p al electronilor într-un conductor cu lungimea $l = 10$ km parcurs de un curent $I = 400$ A.

□ 28.2. La capetele unui conductor de cupru cu $l = 15$ km, $s = 1$ mm², se aplică o tensiune de 7 V. Considerînd că fiecărui atom îi corespunde un electron liber, să se afle: a) în cît timp parcurge un electron liber toată lungimea conductorului?, b) care este suma forțelor electrice care acționează asupra tuturor electronilor liberi din conductor?

△ 28.3. Un disc metalic cu diametrul de 5 cm se rotește cu turația de 1 200 min^{-1}. Să se afle diferența de potențial între centrul discului și periferie.

□ 28.4. O bobină cu 590 spire din sîrmă de cupru cu diametrul de 0,3 mm are diametrul spirelor de 14 cm. Bobina se rotește în jurul axei sale iar capetele ei sînt legate la un galvanometru balistic. Cînd bobina se oprește brusc acul

---

* Folosită din ce în ce mai rar (N.trad).

galvanometrului deviază. Ce cantitate de electricitate trece prin circuit la oprirea bobinei dacă rezistența circuitului (inclusiv a galvanometrului) este de 130 Ω ? Frecvența rotațiilor bobinei este 33 s^{-1}.

△ 28.5. Ce cantitate maximă de electricitate trece printr-un circuit format dintr-un termocuplu cupru-platină și o rezistență oarecare la absorbția unei cantități de căldură de 4 180 J la contactul cald care are temperatura de 100°C. T.e.m. este 0,76 mV.

○ 28.6. Un fir de praf se poate găsi în echilibru în cîmpul electric. Greutatea acționează asupra tuturor particulelor firelor de praf, iar cîmpul electric numai asupra celor care au surplus de electroni. În ce fel se echilibrează aceste forțe ?

△ 28.7. Apropiind un baston electrizat negativ de filamentul incandescent al unui bec (vezi figura 28.7), filamentul este atras. Dacă se apropie un baston electrizat pozitiv, filamentul rămîne nemișcat și este atras numai cînd se îndepărtează bastonul electrizat pozitiv. Dacă filamentul este înroșit el este atras în mod egal și de bastonul încărcat pozitiv și de cel electrizat negativ. Dacă filamentul este incandescent pînă la alb, el rămîne nemișcat la apropierea ambelor bastoane electrizate. Să se explice aceste fenomene, pe baza emisiei termoionice și ținînd seama de faptul că în tub se află urme de gaz.

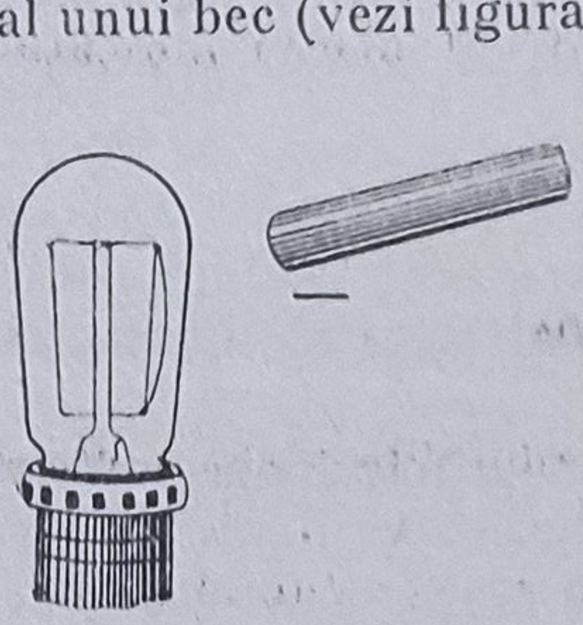


Fig. 28.7.

▲ 28.8. Care este lucrul mecanic de extracție, dacă ridicarea temperaturii de incandescență a filamentului de la 2 000 K la 2 001 K mărește curentul de saturație al lămpii cu 1 % ?

▲ 28.9. Să se afle curentul de saturație într-un tub electronic cu catod de wolfram al cărui filament are lungimea de 3 cm, diametrul de 0,1 mm și temperatura de incandescență de 2 700 K. Constanta A pentru wolfram este $60{,}2 \frac{A}{cm^2 K^2}$.

▲ 28.10. Un filament de wolfram, servind drept catod într-un tub electronic, ajunge la o anumită temperatură de incandescență la un curent de 1,9 A. Cu cîți volți trebuie mărită tensiunea de filament așa încît la un curent anodic de 0,1 A, temperatura filamentului să rămînă aceeași ca și în absența curentului anodic ?

§ 29. Curentul electric în gaze

I. Energia de ionizare $L = \varphi \cdot e$, φ potențialul de ionizare.

II. Vitezele ionilor avînd mobilitățile k_+ și k_- : $v = k_+ E$; $u = k_- E$.

III. Densitatea curentului la o concentrație n a ionilor (nu are loc saturația) : $j = en\ (k_+ + k_-)\ E$.

III. Densitatea curentului de saturație între doi electrozi plani aflați la distanța d : $j = e\ q\ d$, unde q este numărul de perechi de ioni produși de agentul ionizator într-un cm^3 în timp de o secundă.

V. Numărul de perechi de ioni care se recombină într-un cm^3 în timp de 1 s, într-un spațiu purificat de praf : $\Delta n = \alpha n^2$ unde α este coeficientul de recombinare. În prezența în gaze a prafului, fumului etc., recombinarea se produce

în mare măsură pe aceste impurități. În acest caz numărul de perechi de ioni care se recombină într-o secundă se poate considera proporțional cu n: $\Delta n = \beta n$.

VI. Timpul mediu de viață al unui ion : $t = \frac{n}{q}$.

○ 29.1. La ce viteză relativă a moleculelor de oxigen se poate produce ionizarea uneia din ele ? Indicație : La rezolvarea acestei probleme și a celor următoare, se va considera că ionizarea are loc în urma ciocnirilor neelastice a moleculelor.

△ 29.2. a) Un electron ionizează prin ciocnire o moleculă de oxigen. La ce tensiune a fost accelerat electronul dacă viteza sa inițială este mică ? De asemenea, viteza moleculei înainte de ciocnire, este mică. b) Aceeași întrebare pentru un ion a cărui masă, împreună cu moleculele „lipite" este de $n = 4$ ori mai mare decît masa moleculei de oxigen.

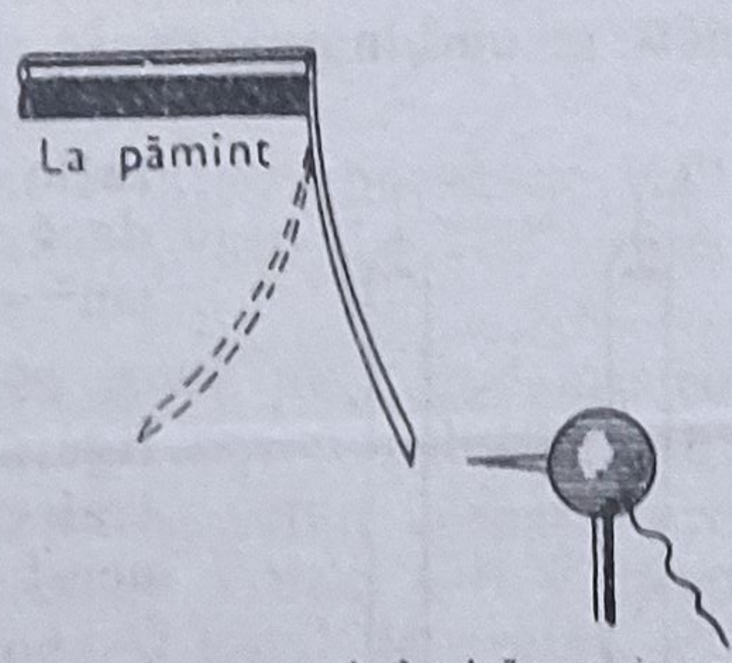


Fig. 29.3.

○ 29.3. În figura 29.3 este reprezentată experiența privind scurgerea purtătorilor de sarcină printr-un vîrf ascuțit. În apropierea unui vîrf ascuțit se află o bandă îngustă de hîrtie subțire fixată pe un suport legat la pămînt. Ridicînd treptat tensiunea dintre vîrful ascuțit și pămînt, banda de hîrtie este mai întîi atrasă, apoi, la o anumită tensiune, este respinsă brusc. Să se explice fenomenele.

△ 29.4. Doi ioni se mișcă într-un gaz în jurul centrului comun de masă, iar energia cinetică totală este egală cu energia medie a mișcării de translație a moleculelor gazului. Cu cît este egală distanța b dintre ele la 0°C ?

● 29.5. Aerul aflat între două plăci cu $S = 300$ cm^2 aflate la distanța $d = 2$ cm este ionizat cu ajutorul radiațiilor Röntgen. La tensiunea $U = 150$ V, mult mai mică decît tensiunea la care corespunde curentul de saturație, între plăci circulă un curent de $4 \cdot 10^{-6}$ A. Să se afle concentrația ionilor dintre plăci.

○ 29.6. Concentrația ionilor din atmosferă este în medie 700 cm^{-3}. Valoarea medie a cîmpului electric al Pămîntului este 130 V/m. Să se afle densitatea curentului de conducție în atmosferă.

○ 29.7. Aerul dintre plăcile unui condensator fiind ionizat, circulă un curent de saturație de $2 \cdot 10^{-10}$ A. Suprafața plăcilor este 100 cm^2, iar distanța dintre ele este 0,5 cm. Cîte perechi de ioni se formează într-o secundă, în volumul de 1 cm^3 ?

▲ 29.8. Considerăm că ionii produși prin ciocnire se recombină. De cîte ori se mărește numărul ciocnirilor ionilor din aer ca urmare a interacțiunii lor în comparație cu moleculele neutre, la temperatura de 17°C ? Diametrul moleculelor $\sigma = 3 \cdot 10^{-8}$ cm. Coeficientul de recombinare $\alpha = 1{,}6 \cdot 10^{-6}$ cm^3 s^{-1}.

▲ 29.9. Numărul de perechi de ioni produși într-o secundă în volumul de 1 cm^3 este egal cu 1 deasupra oceanului (datorită radiației cosmice) iar deasupra uscatului este egal în medie cu 8 (datorită și radiațiilor radioactive). Aerul de deasupra oceanului se poate considera purificat de praf ($\alpha = 1{,}6\ 10^{-6}$ cm^3 s^{-1}). Aerul de deasupra uscatului conține praf ($\beta = 0{,}01$ s^{-1}). a) Să se calculeze concentrația ionilor deasupra oceanului și deasupra uscatului. b) Cu cît se vor deplasa în direcție verticală ionii pozitivi și negativi din aerul de deasupra

oceanului și de deasupra uscatului, dacă intensitatea cîmpului electric al pămîntului este 130 V/m în ambele cazuri?

▲ 29.10. Numărul de perechi de ioni produși într-un cm^3 prin ionizare cu radiații Röntgen este $n_0 = 10^6\ cm^{-3}$. După cît timp de la dispariția radiației numărul perechilor de ioni se va micșora la $n = 10^4\ cm^{-3}$: a) dacă aerul este curat ($\alpha = 1{,}6 \cdot 10^{-6}\ cm^3\ s^{-1}$)?, b) dacă aerul conține impurități ($\beta = 10^{-2}\ s^{-1}$)? Se neglijează acțiunea altor agenți ionizatori.

■ 29.11. Gazul dintre doi electrozi plani se ionizează. În apropierea electrozilor nu are loc recombinarea fiindcă ionii ajung la electrozi înainte de a se recombina. Pe baza acestui fapt: a) să se arate că formula $j = en(k_+ + k_-)\frac{U}{d}$ trece în formula $j = eqd$ îndată ce se ajunge la o asemenea viteză a ionilor încît recombinarea nu se produce nicăieri în spațiul dintre electrozi; b) să se calculeze la ce tensiune se va obține curentul de saturație dacă distanța dintre electrozi este $d = 3$ cm și dacă $q = 10^7\ s^{-1}\ cm^3$. Gazul este purificat ($\alpha = 1{,}6 \cdot 10^{-9}\ cm^3\ s^{-1}$).

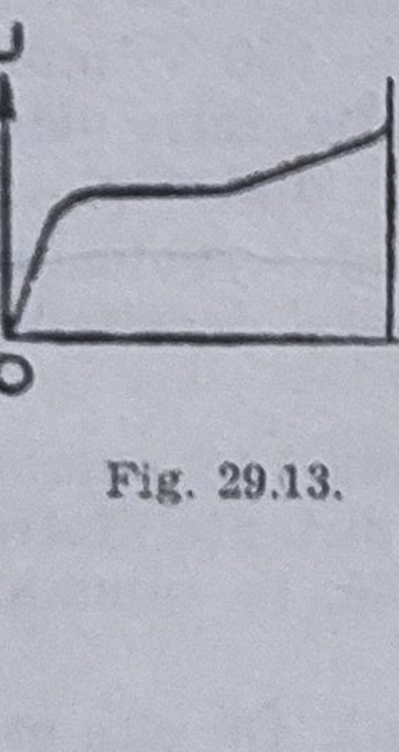


Fig. 29.12.

△ 29.12. Într-un tub îndoit, cu vid înaintat (vezi figura 29.12) electronii circulă de la catod la anod pe traiectorii curbate, după forma tubului. Cum se explică acest fapt?

Fig. 29.13.

○ 29.13. În graficul din figura 29.13 se reprezintă variația potențialului dintre catodul și anodul unui tub în care are loc o descărcare luminescentă. În ce regiune intensitatea cîmpului este maximă? Unde este nulă? Să se indice regiunile în care există sarcini spațiale.

△ 29.14. Într-un tub vidat circulă un curent iar electronii ciocnesc anodul transmițîndu-i un anumit impuls. Înseamnă aceasta că forța rezultantă care acționează asupra anodului este diferită de zero?

△ 29.15. La mișcarea electronilor într-un tub vidat, ei nu întîlnesc în drumul lor atomi sau molecule și prin urmare nu se poate vorbi despre un efect termic al curentului în interiorul tubului. De ce nu este nulă tensiunea dintre electrozi?

§ 30. Curentul electric în electroliți

I. Legea lui Faraday pentru masa m de substanță separată prin electroliză la trecerea unor purtători de sarcină q: $m = \frac{A}{Z} \cdot \frac{q}{F}$ (A = masa atomică sau moleculară), Z = valența, F = numărul lui Faraday).

II. Conductivitatea electrolitului $g = zen\ \alpha(k_+ + k_-)$ (ze = sarcina ionului, n = concentrația moleculelor substanței dizolvate, α = coeficientul de disociere, k_+ și k_- = mobilitățile ionilor).

III. Ecuația Gibbs-Helmholtz (§18) aplicată pentru tensiunea dintre un electrod și electrolit sau pentru doi electrozi introduși într-un electrolit

$E = \frac{H}{FZ} + T\frac{dE}{dT}$, ($H$ — suma căldurilor produse prin reacție în interiorul elementului sau semielementului pentru 1 k mol de ioni).

○ 30.1. Ionii din electroliți se mișcă după liniile cîmpului electric? Ce se are în vedere cînd se spune că liniile de curent în electrolit coincid cu liniile de forță ale cîmpului?

○ 30.2. Să se afle grosimea stratului de nichel depus electrolitic în 5 ore pe o suprafață de 120 cm^2 la trecerea unui curent de 0,3 A. Nichelul este bivalent.

○ 30.3. Cît zinc ($Z = 2$) se consumă într-un element Daniel în 20 min la un curent de 0,5 A?

○ 30.4. Ce masă de apă se va descompune la electroliza acidului sulfuric în 10 min dacă $I = 0{,}8$ A?

● 30.5. Să se afle coeficientul de disociere al soluției apoase de KCl cu concentrația $c = 0{,}1$ g/cm^3. Rezistivitatea acestei soluții la 18°C este de 7,36 Ω·cm.

● 30.6. O soluție apoasă conținînd 0,064 g acid azotic pe 1 cm^3 are coeficientul de disociere 0,824. Care este conductivitatea acestei soluții la 18°C?

▲ 30.7. Să se afle diametrul unui corp sferic care, avînd aceeași sarcină ca și un ion de argint, se mișcă într-o soluție slabă a unei sări de argint, în prezența cîmpului electric, cu aceeași viteză ca și ionul de argint. Forța de rezistență a mediului la mișcarea corpului se calculează cu formula lui Stokes (§ 9). Viscozitatea soluției este aceeași ca a apei la 18°C.

△ 30.8. În apă se dizolvă 1,5 g cristale de sulfat de cupru ($CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$) soluția avînd volumul de 100 cm^3. În soluție se introduc doi electrozi de cupru dreptunghiulari cu laturile de 8 cm și 10 cm. Tensiunea $U = 0{,}5$ V iar curentul $I = 0{,}56$ A. a) Care este rezultanta forțelor electrice care acționează asupra ionilor de cupru aflați între electrozi? *b)* Care este suma vitezelor mișcării dirijate a ionilor de Cu și SO_4? Disocierea este totală.

● 30.9. Să se afle căldura molară de trecere în soluție a ionilor de taliu. Tensiunea dintre taliu și soluția conținînd un mol de ioni de taliu într-un litru la temperatura de 25°C este $E = -0{,}0576$ V, iar variația acestei tensiuni la variația temperaturii este $-0{,}00121$ V/grad.

§ 31. Electromagnetismul

I. Momentul magnetic al unei bobine $p = NIS$ în care N este numărul de spire, I — intensitatea curentului, S — aria delimitată de o spiră. La introducerea în bobină a unui miez la această mărime se adaugă momentul magnetic al miezului $p_1 = MV$ unde M este intensitatea de magnetizare, iar V volumul miezului.

II. Momentul magnetic al unui magnet subțire și rectiliniu $p_1 = MV$ (în cazul general este integrala de volum a vectorului intensitate de magnetizare).

III. Momentul magnetic al mai multor bobine sau magneți este egal cu suma vectorială a momentelor lor magnetice.

IV. Momentul de rotație care acționează asupra unei bobine sau unui magnet cu momentul magnetic p, într-un cîmp magnetic de inducție B formînd unghiul α cu axa bobinei este $\mathfrak{M} = Bp \sin \alpha$.

V. Intensitatea cîmpului magnetic produs de un element Δl al unui conductor parcurs de curentul I într-un punct aflat la distanța r este $\Delta H = \frac{I \Delta l \sin (\vec{l}, \vec{r})}{4\pi r^2}$.

VI. Intensitatea cîmpului magnetic produs de o porțiune a unui curent rectiliniu de intensitate I, într-un punct aflat la distanța a de conductor, este (vezi figura 31.VI): $H = \frac{I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$. În cazul unui curent rectiliniu foarte lung: $H = \frac{I}{2\pi a}$.

Fig. 31,VI.

VII. Intensitatea cîmpului magnetic în centrul unui arc de cerc de lungime L: $H = \frac{IL}{4\pi d^2}$. În centrul unei spire circulare: $H = \frac{I}{2R}$.

VIII. Intensitatea cîmpului magnetic în interiorul unei bobine lungi (solenoid) în punctele apropiate de mijlocul ei: $H = \frac{NI}{l}$.

IX. Intensitatea cîmpului magnetic în interiorul unui toroid, la distanța R de axă este (vezi figura 31.IX): $H = \frac{NI}{2\pi R}$.

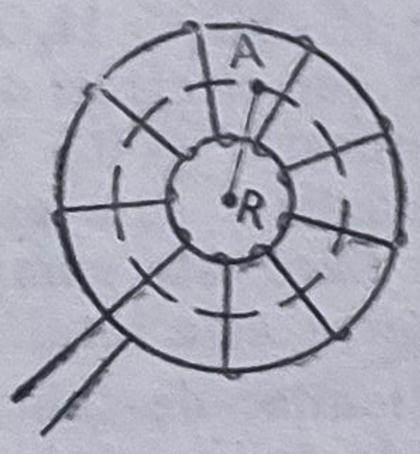


Fig. 31.IX.

X. Circulația vectorului $\vec{H}$ pe un contur care înfășoară mai mulți curenți este: $\oint \vec{H} \cdot \vec{dl} = \Sigma I_k$.

XI. Legătura între inducția magnetică B, permeabilitatea magnetică μ și intensitatea cîmpului magnetic H este $B = \mu H$. De asemenea $B = \mu_0 (H + M)$ unde M este intensitatea de magnetizare (densitatea de volum a momentului dipolar $\frac{\Delta P}{\Delta V}$). În substanțe dia- și paramagnetice: $M = \chi H$ unde χ este susceptibilitatea magnetică, proporțională cu densitatea materialului.

XII. Forța electromagnetică: $F = BI \Delta l \sin (\vec{B}, \vec{\Delta l})$

XIII. Forța Lorentz: $F = qvB \sin (\vec{B}, \vec{v})$.

XIV. Forța care acționează asupra unui solenoid scurt (sau asupra unui magnet) cu axa situată în lungul liniilor unui cîmp magnetic neomogen este: $F = -p \frac{\Delta B}{\Delta l}$.

XV. Forța electrodinamică: $F = \mu \frac{I_1 \cdot I_2 l}{2\pi d}$.

XVI. Fluxul magnetic printr-o suprafață S: $\Phi = B \cdot S \cos (\vec{B}, \vec{S})$.

XVII. Fluxul magnetic într-un miez cu diferite valori ale permeabilității și secțiunii, pe diferite porțiuni ale circuitului magnetic $\Phi = \frac{NI}{\Sigma \frac{l}{\mu S}}$.

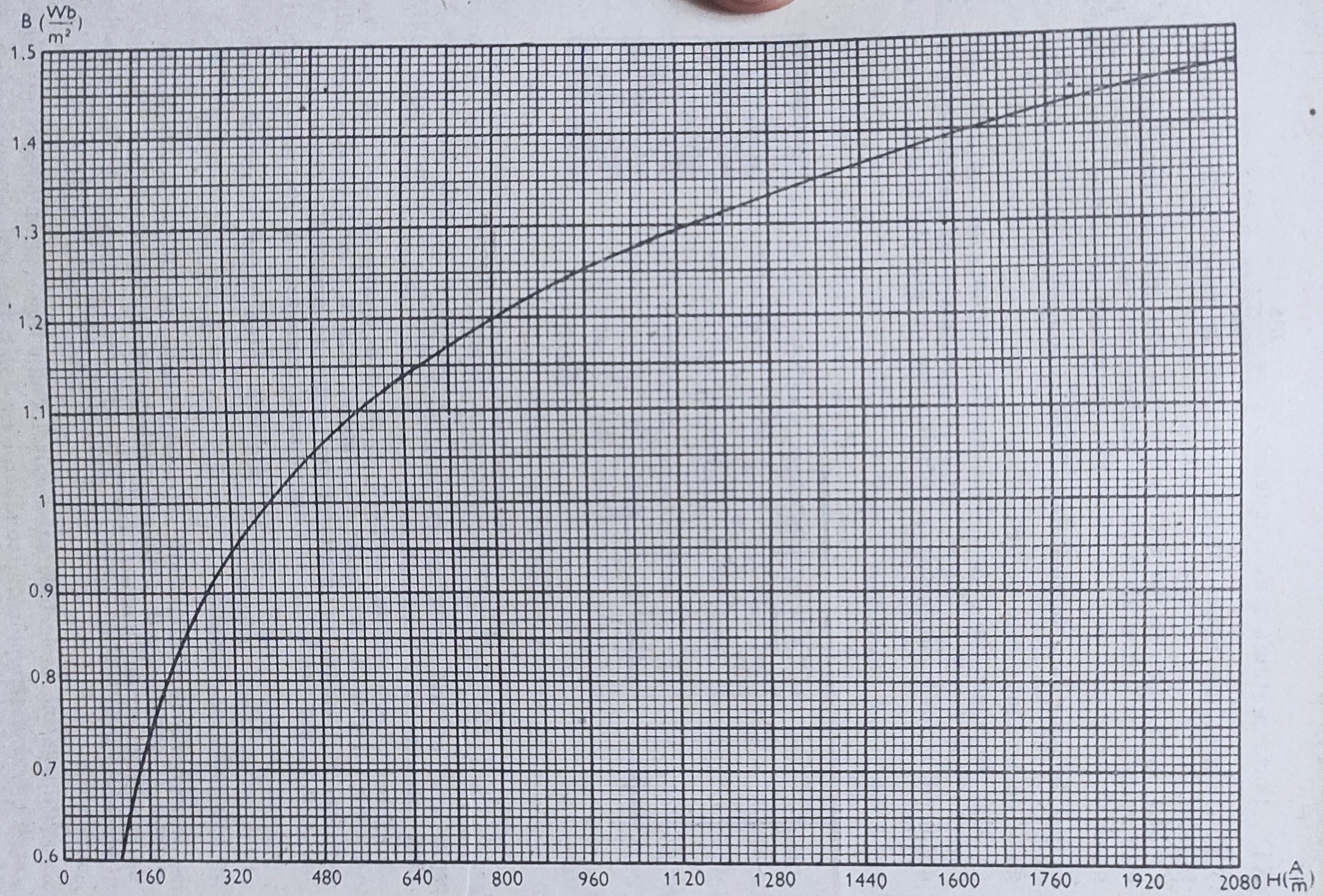

B ($\frac{Wb}{m^2}$)
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0
160
320
480
640
800
960
1120
1280
1440
1600
1760
1920
2080
H($\frac{A}{m}$)

Fig. 31 . XX.

XVIII. În cazul unei bobine cu lungimea mult mai mare ca diametrul $\Phi = \frac{\mu N I S}{l} = \frac{\mu_0 \mu_r P}{l}$.

XIX. Forța portantă a unui magnet : $F = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$.

XX. Graficul din figura 31.XX se referă la proprietățile magnetice ale fierului.

○ 31.1. Axa unei bobine rectilinii având 400 spire și diametrul de 4 cm este așezată pe orizontal în planul meridianului magnetic. Bobina este parcursă de un curent de 6 A. Să se afle momentul de rotație care acționează asupra bobinei dacă intensitatea cîmpului magnetic este de $40 \frac{A}{m}$ iar unghiul de înclinație este de 70°.

○ 31.2. Bobinele din figura 31.2 au $N = 3\,000$ spire, $S = 10$ cm², iar curentul are $I = 2$ A. Să se calculeze momentele magnetice ale bobinelor neglijînd fluxurile magnetice perpendiculare pe planul figurilor.

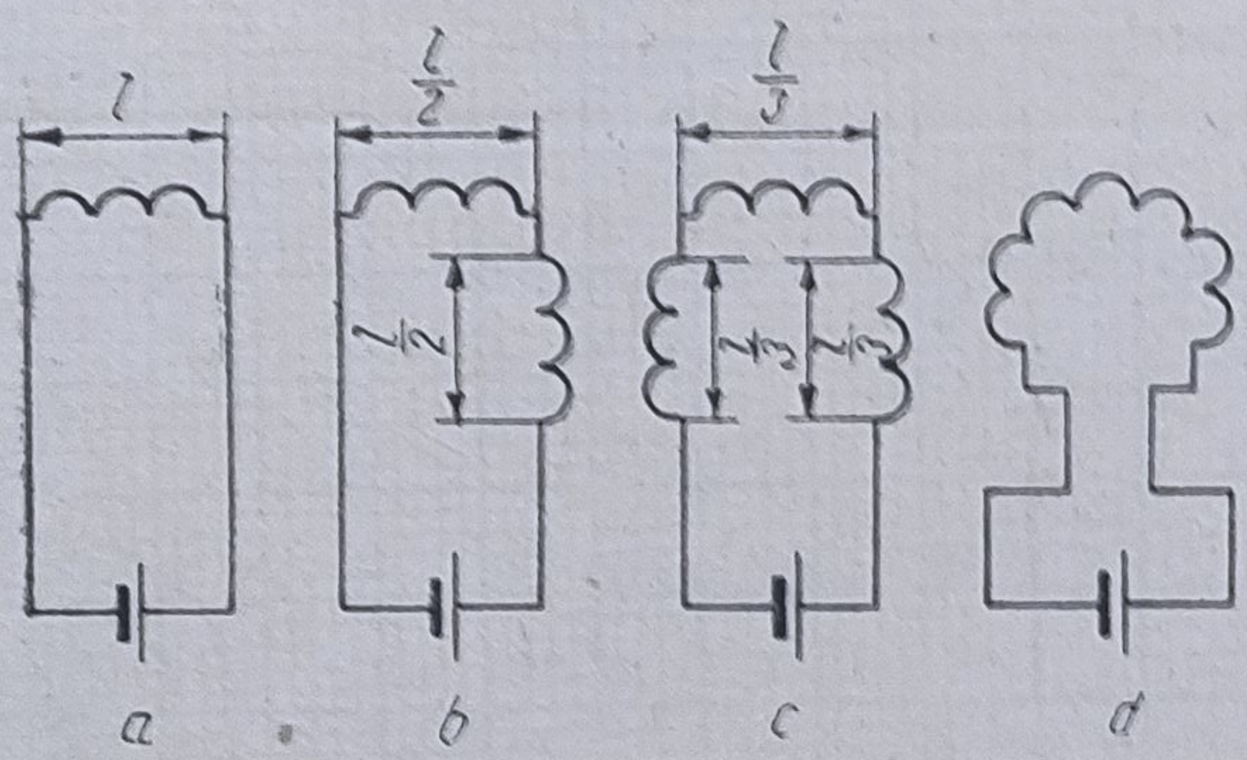


Fig. 31.2.

Fig. 31.3.

△ 31.3. În figura 31.3 este reprezentat filamentul dublu folosit la unele tipuri de becuri cu incandescență. Cele N_1 spire mari au aria S_1, iar cele N_2 spire mici au aria S_2. Să se afle momentul magnetic al filamentului cunoscînd intensitatea I a curentului.

△ 31.4. Perioada micilor oscilații ale unui ac magnetic, în jurul unei axe verticale în cîmpul magnetic pămîntesc, este 0,7 s. Perioada oscilațiilor aceluiași ac introdus în interiorul unui solenoid prin înfășurarea căruia circulă un curent, este 0,1 s. Componenta orizontală a cîmpului magnetic pămîntesc este $14{,}3 \frac{A}{m}$. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic în interiorul solenoidului.

○ 31.5. O spiță magnetizată este suspendată de un fir într-o poziție orizontală și oscilează sub acțiunea cîmpului magnetic pămîntesc. Momentul de rotație al firului poate fi neglijat. Cum se va schimba perioada oscilațiilor dacă spița va fi tăiată în două părți egale și se suspendă numai o jumătate ?

△ 31.6. a) Pînă la închiderea circuitului din figura 31.6 momentul cinetic rezultant al electronilor din conductor este nul. După închiderea circuitului trece un curent și momentul cinetic al electronilor este diferit de zero.

Contravine acest fapt legii de conservare a momentului cinetic? b) Ce valoare are momentul cinetic al electronilor în circuitul considerat dacă momentul magnetic este $p = 5\ \text{A}\cdot\text{m}^2$?

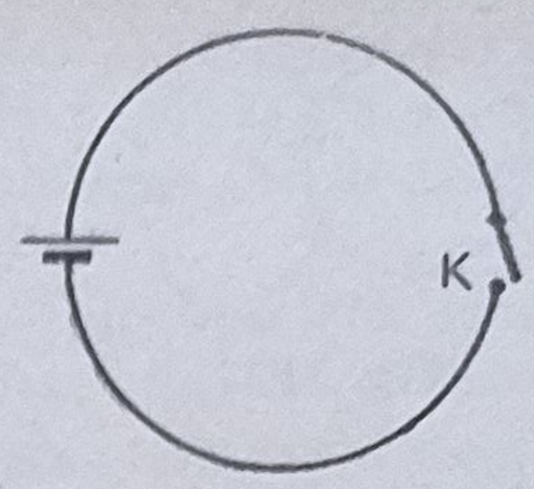


Fig. 31.6.

○ 31.7. Pilitura de fier presărată pe un contur orizontal străbătut de un conductor parcurs de curent se mişcă spre conductor, perpendicular pe liniile de forţă ale cîmpului magnetic, la ciocănirea uşoară a cartonului. Explicaţi fenomenul.

△ 31.8. Prin trei conductoare rectilinii coplanare distanţate la cîte 3 cm trec curenţii $I_1 = I_2$ şi $I_3 = -(I_1 + I_2)$. Să se găsească dreapta de-a lungul căreia cîmpul magnetic rezultant este nul.

○ 31.9. Printr-un conductor vertical circulă un curent de 4 A cu sensul în jos. Să se găsească punctul din apropierea conductorului în care cîmpul magnetic rezultat din compunerea cîmpului magnetic pămîntesc şi cîmpului magnetic al curentului este orientat vertical. Componenta orizontală a cîmpului magnetic pămîntesc este $16\ \frac{A}{m}$.

○ 31.10. Printr-un conductor lung, perpendicular pe planul meridianului magnetic circulă un curent de 15 A cu sensul spre vest. Intensitatea cîmpului magnetic pămîntesc în locul respectiv este $40\ \frac{A}{m}$ iar unghiul de înclinaţie este 70°. a) Să se găsească punctul din apropierea conductorului în care cîmpul magnetic rezultant este nul. b) Ce valoare are cîmpul magnetic rezultant la 5 cm deasupra şi dedesubtul conductorului?

△ 31.11. Prin două conductoare paralele aflate la distanţa de 5 cm circulă în acelaşi sens doi curenţi de 5 A şi 10 A. Să se găsească intensitatea cîmpului într-un punct situat la 2 cm de primul conductor şi la 5 cm de celălalt.

△ 31.12. Printr-un conductor lung, îndoit în unghi drept, circulă un curent de 20 A. Să se găsească intensitatea cîmpului magnetic în punctul situat pe prelungirea unei laturi la 2 cm de vîrful unghiului.

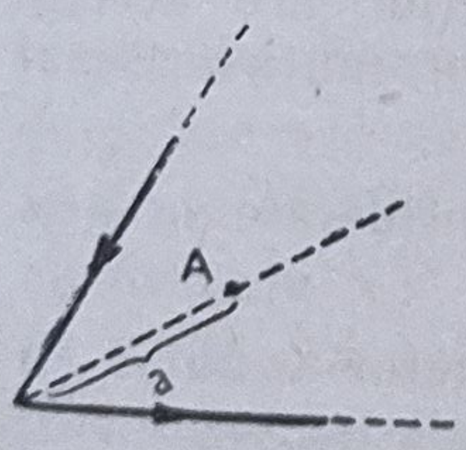


Fig. 31.13.

△ 31.13. Un curent de 30 A circulă printr-un conductor lung, îndoit la 56° (vezi figura 31.13.) Să se calculeze intensitatea cîmpului în punctul A situat pe bisectoarea unghiului la distanţa $a = 5$ cm de vîrful unghiului.

△ 31.14. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic produs în centrul unui conductor dreptunghiular cu laturile de 16 cm şi 30 cm parcurse de un curent de 6 A.

△ 31.15. Un curent de 5 A circulă pe un contur în formă de triunghi echilateral cu latura de 30 cm. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic în vîrful tetraedrului regulat care are ca bază triunghiul considerat.

△ 31.16. Printr-un conductor circular cu raza de 11 cm circulă un curent de 14 A. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic: a) în centrul conductorului; b) în punctul situat pe perpendiculara dusă din centru la planul conductorului la 10 cm de centrul acestuia.

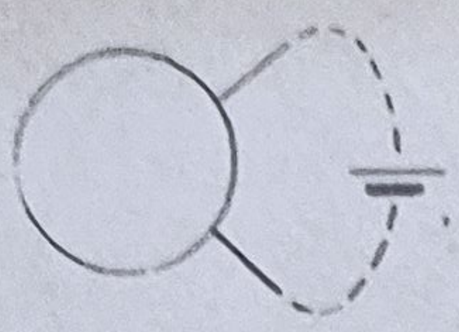


Fig. 31.17.

○ 31.17. Două conductoare legate la o sursă îndepărtată sînt orientate radial (vezi figura 31.17) și conectate la un conductor circular. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic în centrul conductorului circular.

△ 31.18. Înfășurarea unui solenoid lung avînd 35 spire pe cm de lungime este parcursă de un curent de 2 A. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic : a) în interiorul solenoidului în regiunea centrală ; b) în centrul uneia din baze.

△ 31.19. Diametrul spirelor unui solenoid cu 200 spire pe cm este de $n=4$ ori mai mare ca lungimea lui. Spirele sînt parcurse de un curent de 0,1 A. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic : a) în mijlocul axei solenoidului ; b) în centrul uneia din baze.

○ 31.20. Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic produs în aer de un solenoid cu momentul magnetic $p = 0{,}06\ \text{A}\cdot\text{m}^2$ într-un punct situat pe axa sa la distanța $a = 50$ cm. Lungimea și diametrul solenoidului sînt neglijabile în raport cu distanța a.

△ 31.21. Un solenoid inelar cu miez de lemn (vezi figura 31.21) are $N = 500$ spire. Să se calculeze fluxul magnetic dacă prin înfășurare trece un curent $I = 2{,}5$ A.

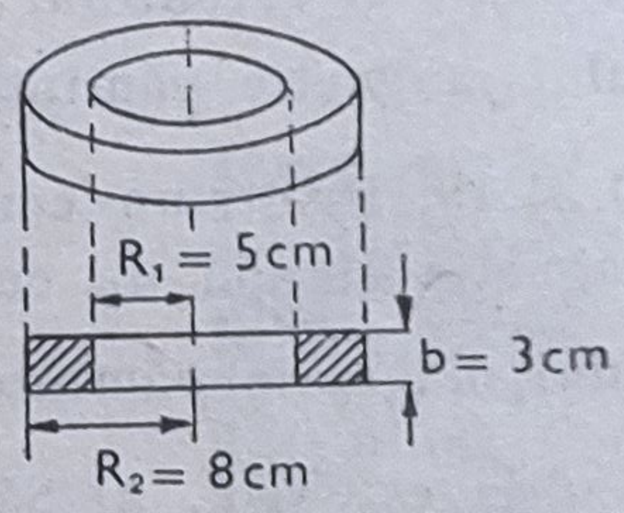


Fig. 31.21.

○ 31.22. Circulația intensității cîmpului pe curbe închise de pe suprafața pămîntului (de exemplu pe cercurile de latitudine) este diferită de zero. Ce se poate deduce, plecînd de la acest fapt, relativ la o regiune în care circulația în sensul acelor ceasornicului pe conturul ei este pozitivă?

○ 31.23. Să se calculeze circulația intensității cîmpului magnetic în cazurile reprezentate în figura 31.23, dacă în cele două conductoare intensitatea curentului este 8 A.

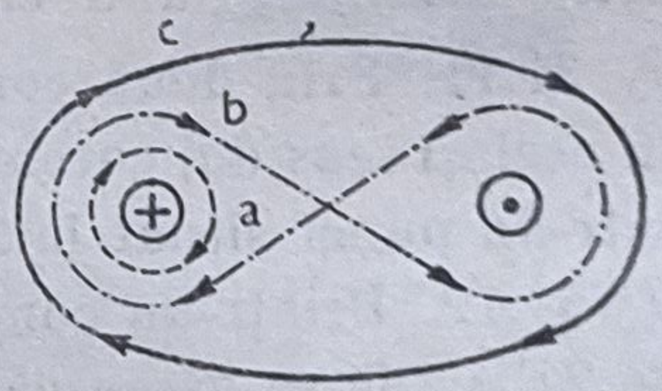


Fig. 31.23.

△ 31.24. Un curent circulă printr-un conductor tubular. Să se arate că : a) intensitatea cîmpului magnetic în interiorul tubului este nulă : b) cîmpul în exterior are aceeași valoare ca în cazul cînd curentul circulă printr-un conductor subțire așezat de-a lungul axei tubului.

□ 31.25. Ce structură are cîmpul magnetic în cazurile considerate în problemele 27.16 și 25.6 ?

△ 31.26. Un curent de $I = 20$ A circulă printr-un conductor tubular cu pereții subțiri avînd raza $R_2 = 5$ cm, și în sens invers printr-un conductor compact cu raza $R_1 = 1$ mm, dispus de-a lungul axei tubului. Lungimea tubului este $l = 20$ m. Cu cît este egal fluxul magnetic al unui asemenea sistem ? (Se neglijează cîmpul magnetic în interiorul metalului.)

△ 31.27. Printr-un conductor de cupru cu secțiune circulară ($R = 2$ cm) circulă un curent $I = 500$ A. a) Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic în interiorul conductorului, într-un punct situat la $r = 0{,}5$ cm de axul conductorului. b) Să se calculeze fluxul magnetic în interiorul conductorului dacă lungimea lui este de 3 m. (Se are în vedere fluxul care străbate una din jumătățile secțiunii axiale a tubului.)

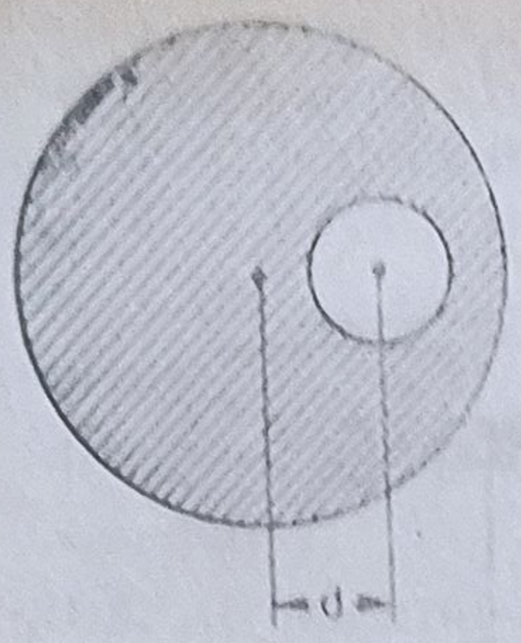


Fig. 31.28.

□ 31.28. În interiorul unui conductor cilindric lung prin care circulă un curent de densitate j se află un gol cilindric a cărui axă este situată la distanța d de axa cilindrului (fig. 31.28). Să se calculeze intensitatea cîmpului magnetic în interiorul golului.

△ 31.29. Un solenoid lung, cu 10 spire pe cm este așezat vertical. Spirele sînt parcurse de un curent de 5 A. Să se calculeze: a) intensitatea cîmpului magnetic în interiorul solenoidului în apropiere de mijlocul său; b) componenta orizontală a cîmpului în exteriorul solenoidului la distanța de 4 cm de axă; c) cum se pot reprezenta liniile de forță în interiorul și în exteriorul solenoidului? Sînt ele curbe închise?

△ 31.30. Un conductor de cupru cu secțiunea $S = 2$ mm² îndoit în trei părți egale care formează între ele unghiuri de 90° (vezi figura 31.30) se poate roti în jurul unei axe orizontale. Conductorul se află într-un cîmp magnetic uniform orientat vertical. La trecerea prin conductor a unui curent de 10 A el se înclină cu $\alpha = 15°$. Să se calculeze inducția magnetică.

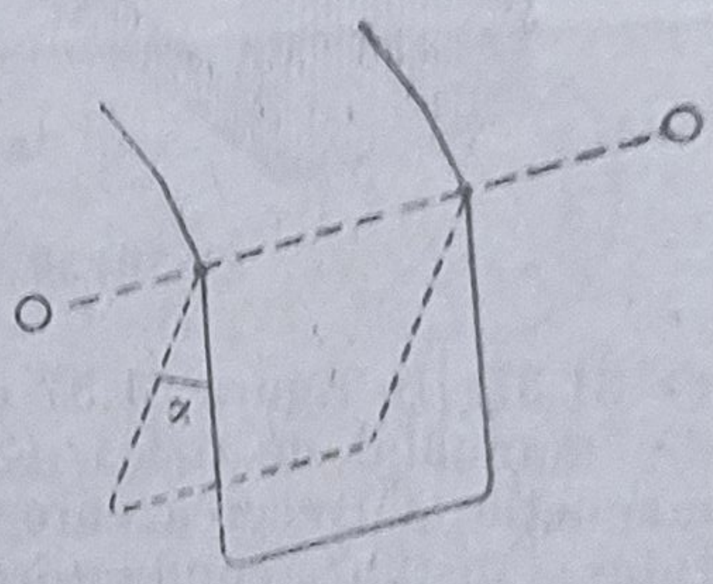


Fig. 31.30.

△ 31.31. Printr-un inel din sîrmă de plumb cu diametrul de 10 cm cu aria secțiunii de 0,7 mm² circulă un curent de 7 A. Temperatura inelului ajunge aproape de temperatura de topire la care rezistența sa de rupere este egală cu $p_0 = 2 \frac{N}{mm^2}$. Se va rupe acest inel dacă este introdus într-un cîmp magnetic cu $B = 1 \frac{Wb}{m^2}$ perpendicular pe planul inelului?

○ 31.32. Liniile unei stații electrice sînt formate din bare paralele de cupru cu lungimea de 3 m aflate la distanța de 50 cm. La un scurtcircuit prin el poate circula un curent de 10 000 A. Cu ce forță interacționează barele în aceste condiții?

□ 31.33. Prin două conductoare paralele de secțiune circulară cu razele secțiunilor comparabile cu distanța dintre axele lor, circulă curenți a căror densitate are aceeași valoare pe întreaga secțiune a fiecărui conductor. Să se arate că forța de interacțiune dintre cele două conductoare se calculează cu formula XV în care d este distanța dintre axele lor.

□ 31.34. De ce în definiția metrului se precizează că cele două conductoare să fie „infinit de lungi" și de secțiune foarte mică?

△ 31.35. Două bobine ale căror momente magnetice sînt $p_1 = 0{,}08$ A·m² și $p_2 = 0{,}12$ A·m² sînt dispuse pe aceeași axă la distanța $R = 100$ cm cu mult mai mare ca diametrul și lungimea bobinelor. Să se calculeze forța de interacțiune dintre bobine.

△ 31.36. În figura 31.36 este reprezentat un montaj experimental pentru studiul interacțiunii curenților. Dacă prin bobine circulă curenți și cîmpurile magnetice din interiorul bobinelor au același sens, bobina mobilă cu diametrul

puţin mai mare ca cea fixă este atrasă peste bobina fixă. Ce se va observa dacă diametrul bobinei mobile este de cîteva ori mai mare ca al celei fixe, iar lungimea acesteia este apreciabil mai mare ca a celei mobile?

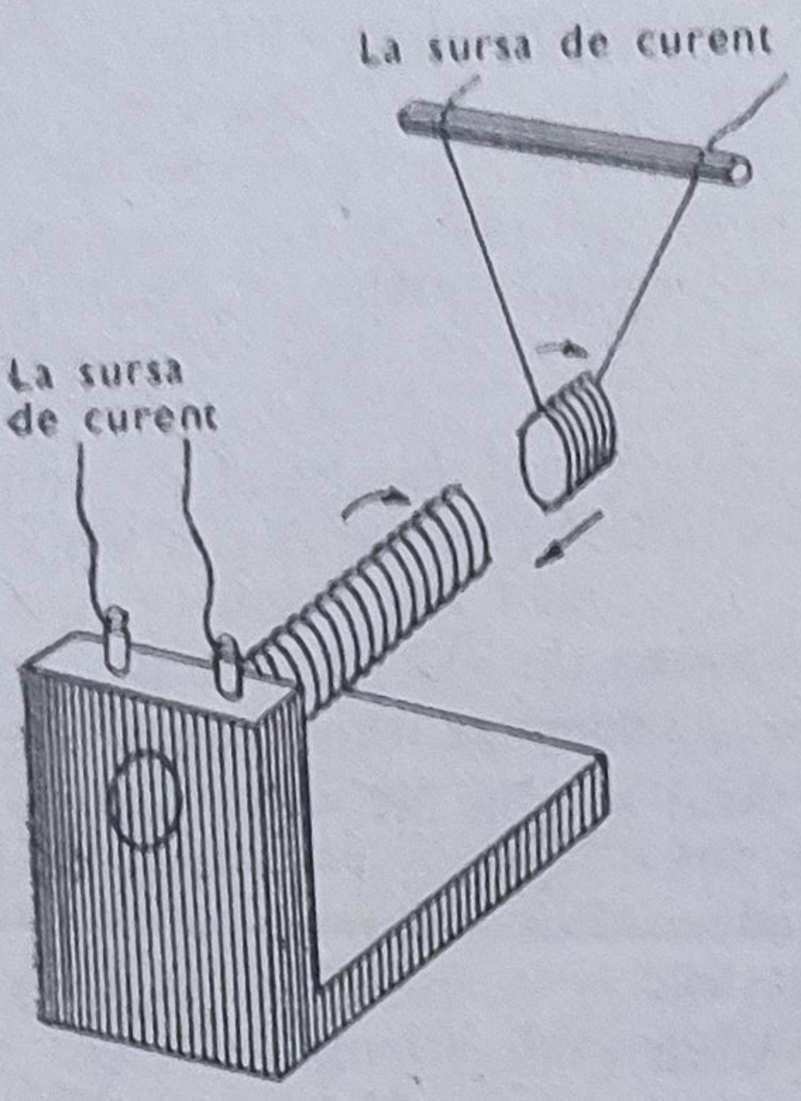


Fig. 31.36.

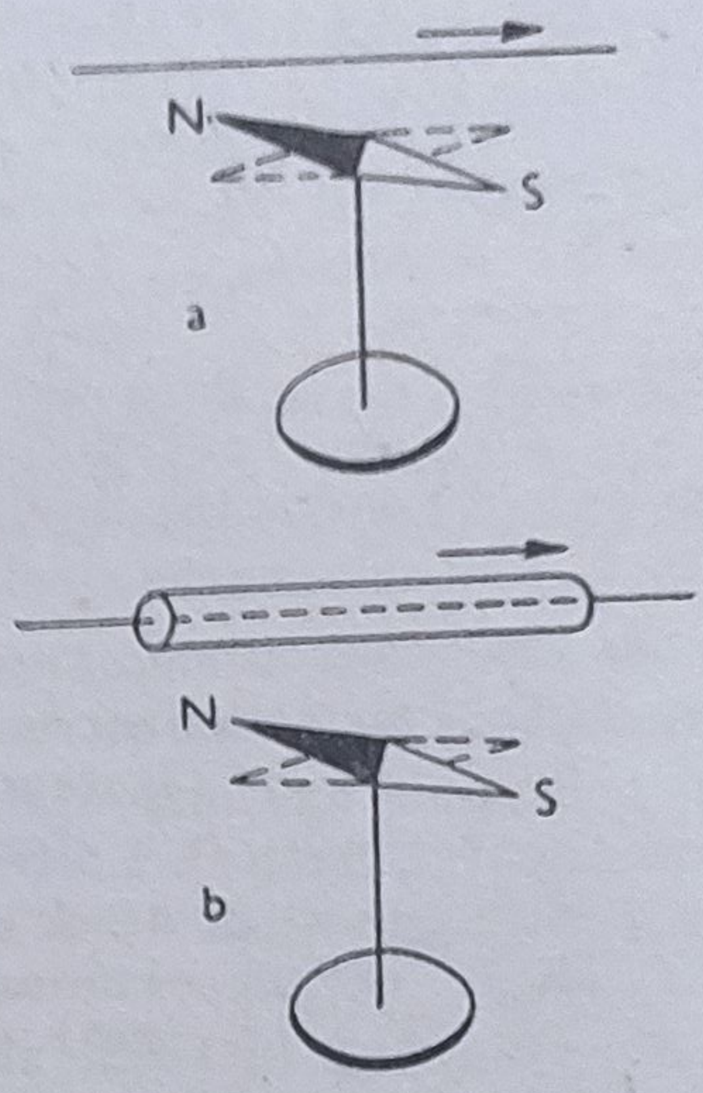


Fig. 31.37.

○ 31.37. În figura 31.37 este reprezentată experienţa lui Oersted cunoscută din manualul de fizică. Cum se va modifica unghiul cu care deviază acul magnetic la trecerea curentului dacă, fără să schimbăm intensitatea curentului şi distanţa conductorului pînă la acul magnetic, se vor efectua următoarele modificări în cadrul experienţei: a) Se va folosi un ac magnetic de aceleaşi dimensiuni dar magnetizat mai puternic; b) Se va folosi un ac magnetic mai lung; c) Conductorul va trece prin interiorul unui tub de fier (vezi figura). Se va neglija interacţiunea acului cu magnetizarea longitudinală indusă în tub.

○ 31.38. Curba de magnetizare a fierului tinde asimptotic la o dreaptă. Ce reprezintă mărimea OB_0 ? (vezi figura 31.38).

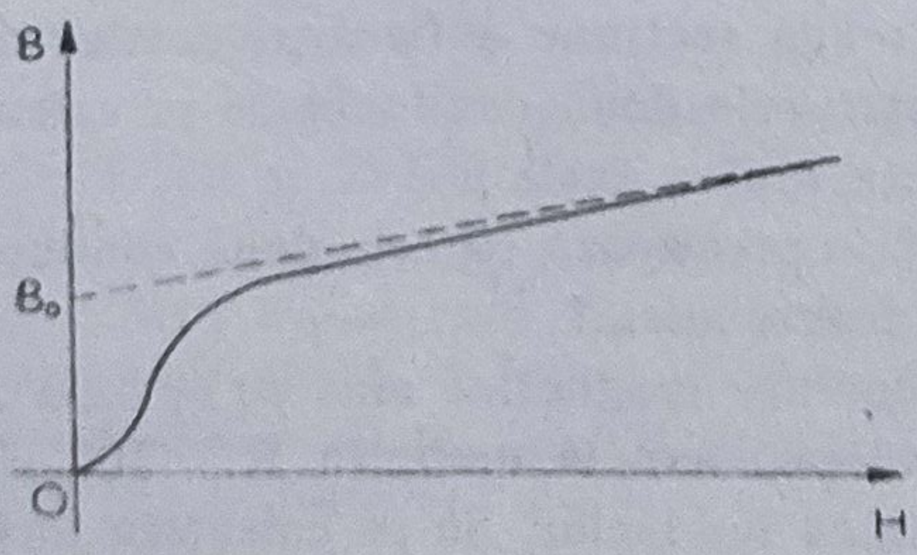


Fig. 31.38.

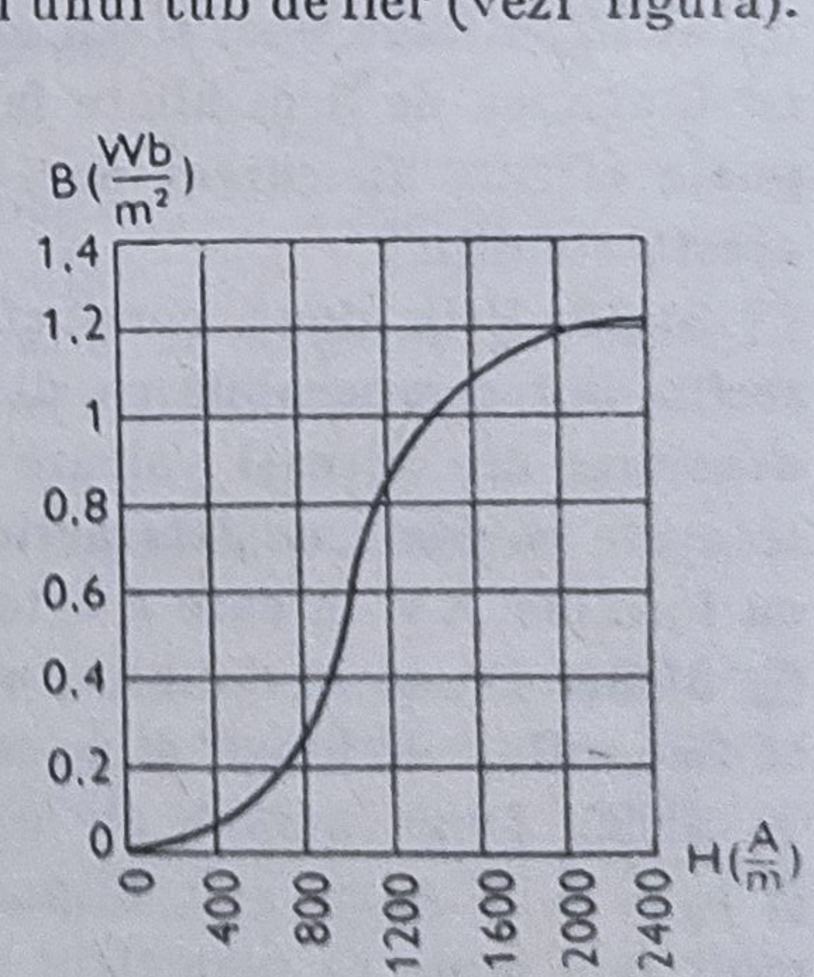


Fig. 31.39.

○ 31.39. Cum se poate determina după graficul din figură valoarea inducţiei magnetice şi cîmpul *H* corespunzătoare maximului lui μ ?

○ 31.40. Să se calculeze forța coercitivă într-un magnet permanent cu lungimea de 15 cm dacă cîmpul în afara magnetului dispare în prezența unui curent de 2 A care trece printr-o bobină cu 300 spire înfășurate pe magnet.

△ 31.41. Pe un toroid de fier se află o bobină cu 1 000 spire parcursă de un curent de 1 A. Să se calculeze intensitatea cîmpului și inducția magnetică în interiorul toroidului la distanțele de: a) 10 cm de centrul toroidului; b) 12,5 cm.

△ 31.42. Diametrul mediu al unui inel de fier este egal cu 15 cm. Suprafața secțiunii inelului este de 7 cm^2. Pe inel sînt bobinate 500 spire. Considerînd cîmpul din interiorul inelului, în prezența curentului, omogen, să se afle: a) fluxul magnetic în miez la un curent de 0,6 A; b) la ce valoare a intensității curentului fluxul magnetic, în inel, este egal cu $8{,}4 \cdot 10^{-4}$ Wb?

△ 31.43. Lungimea medie a cercului corespunzător unui inel de fier este $l = 61$ cm. El este prevăzut cu un întrefier cu $l_1 = 1$ cm. Pe inel se află o bobină cu $N = 1\,000$ spire (vezi figura 31.43). Cînd prin bobină circulă un curent $I = 1{,}5$ A, inducția cîmpului în întrefier este egală cu $B = 0{,}18 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$. Să se calculeze permeabilitatea fierului, considerînd că aria secțiunii pe care se distribuie fluxul magnetic în întrefier este de $k = 1{,}1$ ori mai mare decît aria secțiunii inelului.

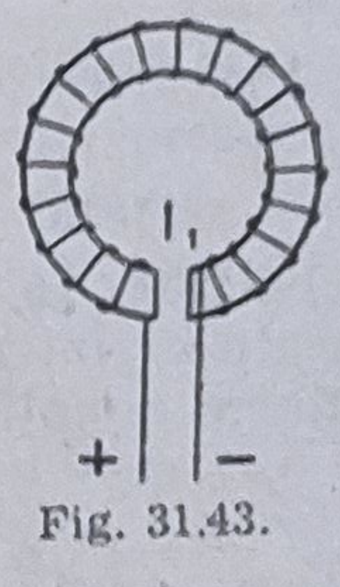


Fig. 31.43.

△ 31.44. Două inele identice de fier ($d = 10$ cm) au fiecare înfășurate cîte 100 spire. Într-unul din inele se află un întrefier cu lărgimea $d_1 = 1$ mm. Prin înfășurarea inelului fără întrefier circulă un curent $I_1 = 2$ A. Ce intensitate I_2 trebuie să circule prin înfășurarea celui de-al doilea inel spre a produce în el aceeași inducție magnetică? Se va considera că aria secțiunii fluxului magnetic în întrefier este aceeași ca și în fier.

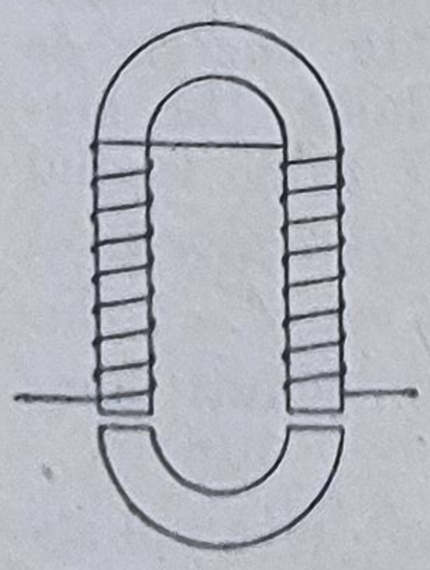


Fig. 31.45.

△ 31.45. Lungimea liniilor de forță într-un electromagnet este egală cu 36 cm. Grosimea celor două întrefieruri este de 0,2 mm (vezi figura 31.45). Aria secțiunii fluxului magnetic pe întreg circuitul magnetic este de 2 cm^2, bobina electromagnetului are 294 spire. La un curent de 3 A forța portantă a magnetului este de 160 N. Să se calculeze: a) inducția magnetică; b) permeabilitatea magnetică a fierului.

○ 31.46. Care din electromagneții reprezentați în figura 31.46 are o forță portantă mai mare dacă fluxul magnetic este același în ambele cazuri?

○ 31.47. Să se explice următoarea experiență: Se dă o bară magnetizată de oțel la capetele căreia se află două mici cuie identice. Dacă unul din capetele barei se încălzește la alb (pînă la mijloc) și apoi se răcește, acest capăt nu mai reține cuiul iar capătul celălalt îl menține atras.

Fig. 31.46.

○ 31.48. Traiectoria unui fascicul de electroni care se mișcă în vid într-un cîmp cu $B = 7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$ este un arc de cerc cu raza de 3 cm. Să se calculeze viteza și energia electronilor.

○ 31.49. Un electron se mișcă într-un cîmp de inducție $B = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vb}}{\text{m}^2}$ pe o spirală cu raza de 2 cm și pasul de 5 cm (vezi figura 31.49). Să se calculeze viteza electronului.

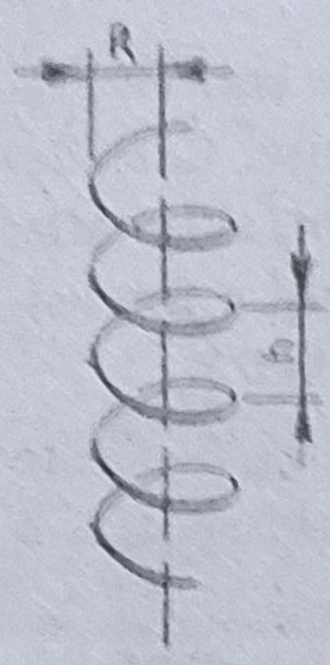


Fig. 31.49.

△ 31.50. Un cîmp electric omogen de intensitate $E = 3 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$ și un cîmp magnetic omogen de inducție $B = 10^{-4} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$ sînt orientate perpendicular. Cum trebuie să fie orientarea și mărimea vitezei unui electron pentru ca traiectoria lui să fie rectilinie?

△ 31.51. Ce valori au accelerația normală și accelerația tangențială a unui electron care se mișcă într-un cîmp electric și magnetic orientate în aceeași direcție dacă: a) viteza electronului v este orientată în lungul cîmpurilor?, b) viteza electronului este perpendiculară pe direcția cîmpurilor?

□ 31.52. În figura 31.52 este reprezentată schema unui ciclotron. a) Să se arate că intervalele de timp după care trebuie inversată tensiunea electrică dintre duanți nu depinde de raza semicercului pe care se mișcă particula și deci trebuie să rămînă constante în tot timpul mișcării particulei. b) Să se calculeze inducția magnetică necesară pentru a imprima unui proton o energie de 4 MeV dacă raza maximă a ultimului semicerc parcurs în interiorul unui duant este de 60 cm. c) Să se calculeze intervalul de timp după care electronul capătă energia de mai sus. Viteza sa inițială este mică. În momentele de trecere ale protonului prin spațiul dintre duanți, tensiunea acceleratoare este $U = 20\,000$ V. Distanța dintre duanți este $d = 1$ cm. Se consideră cîmpul electric dintre duanți omogen.

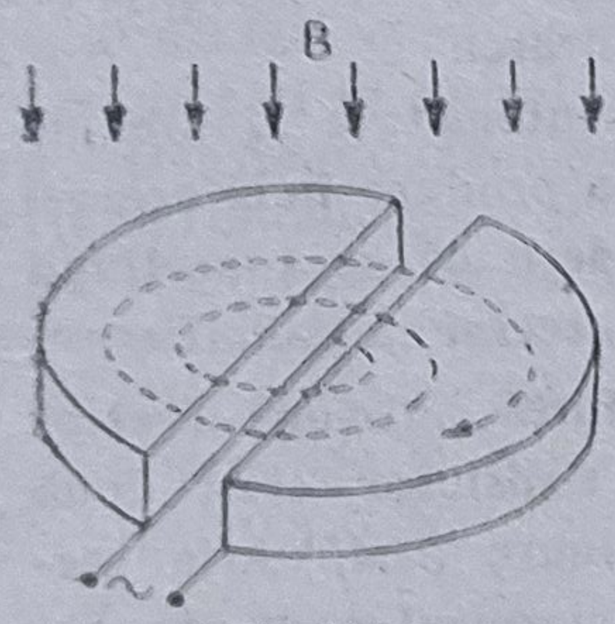


Fig 31.52.

△ 31.53. Ce forță acționează asupra spirelor unei bobine lungi dacă spirele sînt bobinate sub unghiul de 45° față de generatoarea cilindrului?

§ 32. Lucrul mecanic de deplasarea unui conductor parcurs de curent în cîmpul magnetic și inducția electromagnetică

I. Lucrul mecanic la deplasarea unui conductor parcurs de curentul I: $\Delta L = I \Delta \Phi$ unde $\Delta \Phi$ este variația fluxului magnetic în circuitul parcurs de curentul I.

II. Puterea necesară pentru deplasarea unui conductor de lungime Δl cu viteza v în cîmp magnetic: $P = BI\Delta l \sin (\vec{B}, \vec{v})$ (orientările segmentului Δl și a vitezei v se presupun perpendiculare).

III. Legea lui Faraday pentru inducția electromagnetică: $e = -\frac{d\Phi}{dt}$.

IV. Tensiunea electromotoare indusă într-un conductor liniar: $e = -Bv\,\Delta l \sin\alpha$.

V. Cantitatea de electricitate indusă într-un circuit de rezistență R: $q = -\frac{\Delta\Phi}{R}$.

VI. Inductanța unui solenoid cu N spire: $L = \frac{\Phi}{I}$ unde $\Phi = N\Phi_1$, Φ_1 fiind fluxul care străbate o spiră.

VII. Inductanța unui solenoid rectiliniu este $L = k\frac{N^2\mu S}{l}$. Coeficientul k depinde de raportul dintre lungimea l a solenoidului și diametrul d al acestuia. Pentru $l \gg d$, $k \simeq 1$. Aceeași formulă este valabilă și în cazul unui solenoid inelar dacă diametrul inelului este mult mai mare decît diametrul spirelor. În acest caz l reprezintă lungimea medie a liniilor de forță în interiorul solenoidului.

VIII. În cazul a două bobine de inductanțe L_1 și L_2 și inductanță mutuală M (inductanța sistemului) este $L = L_1 + L_2 \mp 2M$. Semnul $+$ corespunde cazului cînd cîmpurile magnetice din cele două bobine se întăresc reciproc.

IX. La închiderea unui circuit conținînd o rezistență R și o inductanță L intensitatea curentului după timpul t are valoarea $i = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$ unde E este tensiunea electromotoare din circuit.

X. Intensitatea curentului la deschiderea unui circuit: $i = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$, I_0 fiind intensitatea curentului în momentul deconectării tensiunii electromotoare.

XI. Densitatea de energie a cîmpului magnetic: $w = \frac{B^2}{2\mu}$.

XII. Energia cîmpului magnetic al curentului: $W = \frac{LI^2}{2}$.

○ 32.1. Axa unei bobine cu 1 000 spire și diametrul de 10 cm este dispusă orizontal în planul meridianului magnetic. Bobina este parcursă de un curent de 0,5 A. Componența orizontală a cîmpului magnetic pămîntesc este 16 A/m. Ce lucru mecanic trebuie efectuat pentru a întoarce bobina cu 180°?

○ 32.2. Un conductor de cupru cu un înveliș de fier (vezi figura 32.2) este deplasat într-un cîmp magnetic. Cum influențează prezența învelișului de fier producerea t.e.m. de inducție în următoarele cazuri: a) la mișcarea conductorului împreună cu învelișul de fier?, b) în cazul cînd conductorul este imobil dar cîmpul magnetic se intensifică sau slăbește?

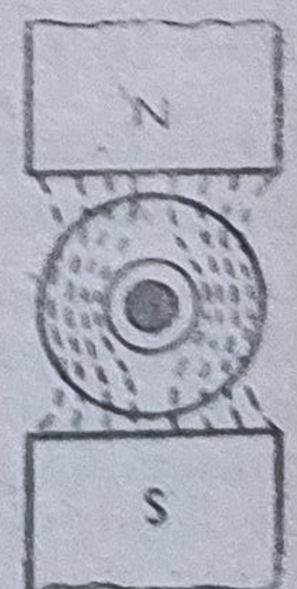


Fig. 32.2.

○ 32.3. Într-o bobină legată la un galvanometru se introduce un magnet și acul galvanometrului deviază. Galvanometrul este înlocuit cu un reostat a cărui rezistență este

egală cu rezistența galvanometrului și se introduce din nou același magnet. Este egal curentul indus în cele două cazuri?

○ 32.4. În interiorul unei bobine scurtcircuitate se introduce altă bobină alimentată de curentul produs de un acumulator. În bobina interioară se introduce un miez de fier, iar curentul produs în prima bobină provoacă încălzirea acesteia. Pe seama cărei energii se produce această încălzire?

○ 32.5. Într-o bobină scurtcircuitată se introduce un magnet, prima dată încet și apoi mai repede: a) Sînt egale cantitățile de electricitate induse în cele două cazuri? b) Lucrul mecanic produs împotriva forțelor electromagnetice este același în ambele cazuri?

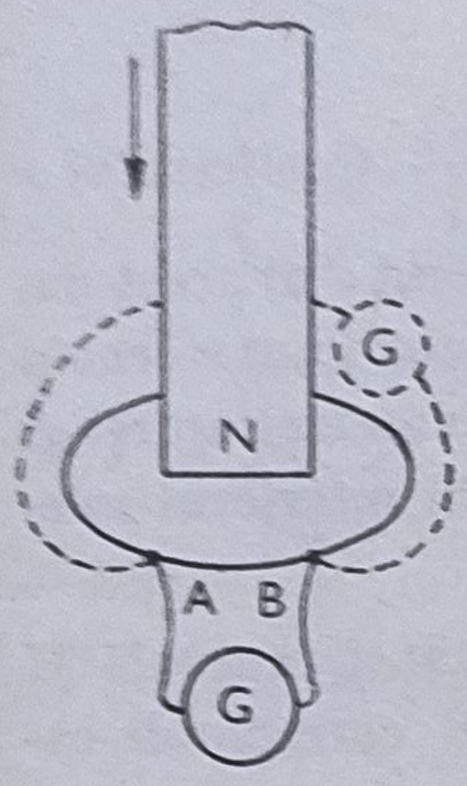


Fig. 32.6.

△ 32.6. Un magnet se mișcă în interiorul unui inel de fier producînd curent de inducție: a) Cu cît este egală diferența de potențial dintre două puncte de pe inel? b) Ce va indica un galvanometru legat cu aceeași conductori între punctele A și B ale inelului din figura 32.6?

○ 32.7. Într-un cîmp magnetic omogen și variabil se află o rețea metalică (de exemplu ca în problema 26.2). Cum vor circula curenții de inducție prin conductorii rețelei?

○ 32.8. Ce fenomene apar într-un inel în care se introduce un magnet? Se vor considera cazurile cînd: a) Inelul este format dintr-un dielectric; b) inelul este supraconductor.

○ 32.9. O vergea metalică orizontală se rotește în jurul unei axe verticale care trece la distanța $\frac{1}{k} = \frac{1}{3}$ din lungimea ei cu frecvența de 2 s^{-1}. Lungimea vergelei $l = 60$ cm. Să se calculeze diferența de potențial între capetele vergelei dacă componenta verticală a cîmpului magnetic pămîntesc este $H_v = 40 \frac{A}{m}$.

△ 32.10. La rotirea corpurilor metalice electronii se îndepărtează de axa de rotație și în corpuri apare un cîmp electric. Cu ce frecvență trebuie să se rotească un disc metalic în jurul unui ax vertical, astfel încît cîmpul electric în el să dispară? Componenta verticală a cîmpului magnetic pămîntesc este $40 \frac{A}{m}$.

□ 32.11. Un inel de sîrmă ($R = 10$ cm) se află într-un cîmp constant și omogen cu $B = 10^{-2} \frac{Wb}{m^2}$ perpendicular pe planul inelului. Centrul inelului este legat cu inelul prin două conductoare rectilinii (vezi figura 32.11). Unul din conductoare (OA) este imobil, iar celălalt (OB) se rotește în jurul centrului cu viteza unghiulară constantă de 4 rad/s și în consecință atît în inel cît și în conductoarele de legătură apar curenți de inducție. Rezistența electrică a unității de lungime a inelului și a firelor de legătură este $\gamma = 10^{-2}\ \Omega\ cm^{-1}$.

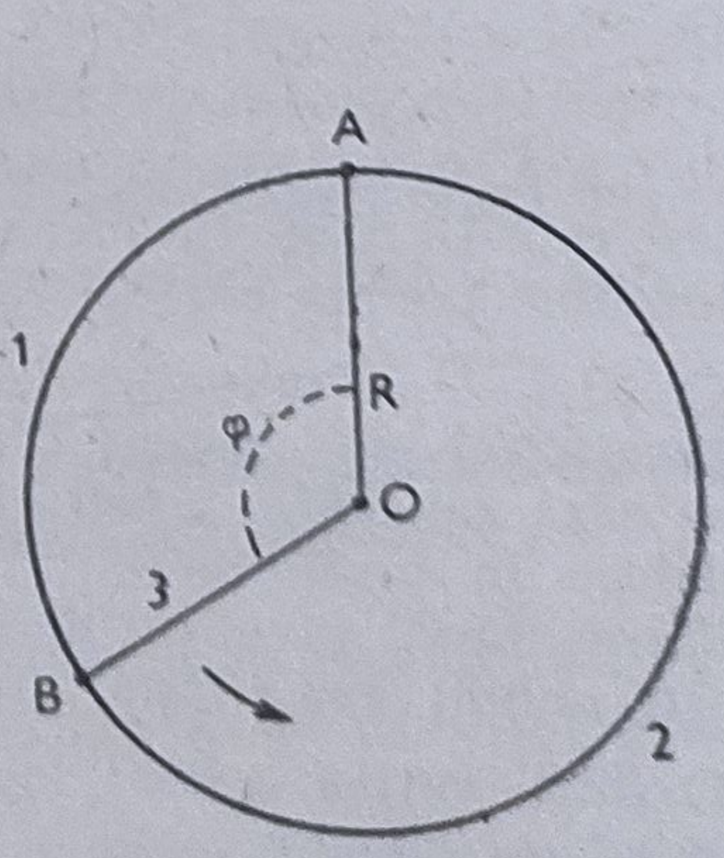


Fig. 32.11.

Cîmpurile magnetice ale curenților induși sînt mici în comparație cu cîmpul magnetic inductor. Să se calculeze curenții în conductoarele de legătură și în inel în următoarele situații: a) $\varphi = 0$; b) $\varphi = \pi$; c) $\varphi = 2\pi$.

△ 32.12. Într-o bobină fără miez de fier avînd 1 000 spire cu diametrul secțiunii de 10 cm și lungimea de 50 cm curentul crește uniform cu 0,1 A pe secundă (de exemplu, cu ajutorul unui reostat). În jurul bobinei se află un inel de cupru cu aria secțiunii de 2 mm². Considerînd că fluxurile magnetice care străbat bobina și inelul sînt egale în orice moment, să se găsească intensitatea curentului în inel.

□ 32.13. Un cadru de sîrmă în formă de pătrat cu o traversă mobilă din același material (vezi figura 32.13) se află într-un cîmp magnetic omogen variabil. În ce caz curenții de inducție produc o cantitate de căldură mai mare: a) cînd traversa se află la jumătate?, b) cînd traversa se află la un capăt?, c) cînd traversa împarte aria pătratului în raportul $\frac{1}{3}$?

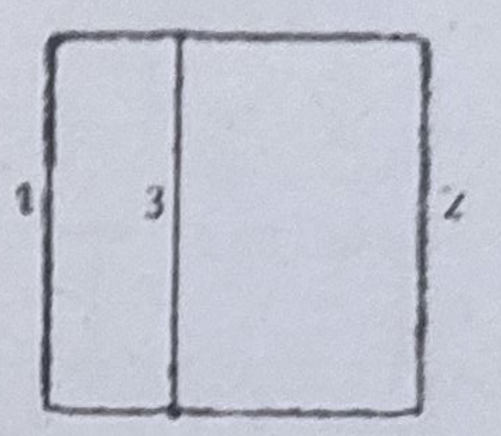


Fig. 32.13.

△ 32.14. Un magnet permanent cu momentul magnetic $p = 6$ A m² și cu lungimea de 20 cm, se introduce într-o bobină cu diametrul bazei de 5 cm, avînd o înfășurare din sîrmă de cupru cu secțiunea de 0,5 mm². Ce cantitate de electricitate trece prin înfășurarea bobinei la mișcarea magnetului?

△ 32.15. Pe un cilindru de lemn cu lungimea $l = 20$ cm, mult mai mare decît diametrul, sînt înfășurate două bobine de cupru cu secțiunea firului de 2 mm². Una din bobine este legată în scurtcircuit. Să se afle cantitatea de electricitate indusă în bobina scurtcircuitată dacă cealaltă bobină se leagă la un acumulator cu t.e.m. = 2 V și cu rezistența interioară neglijabilă.

△ 32.16. Un cerc din cupru cu masa $m = 5$ kg este dispus în planul meridianului magnetic. Ce cantitate de electricitate se induce în el dacă este rotit în jurul unui ax vertical cu 90°? Componenta orizontală a cîmpului magnetic pămîntesc este $B_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

○ 32.17. Care este fluxul magnetic creat de o bobină cu 1 000 spire avînd inductanța de 5 H dacă prin bobină circulă un curent de 0,6 A?

○ 32.18. Cînd printr-o bobină circulă un curent, datorită interacțiunii curenților, ea tinde să-și modifice dimensiunile în lungime și grosime. Cum se va modifica inductanța bobinei la modificarea dimensiunilor sale?

○ 32.19. Din ce cauză inductanța unei bobine depinde de proprietățile magnetice ale miezului din interiorul său, dar este practic independentă de proprietățile magnetice ale corpurilor care o înconjoară?

○ 32.20. Cîte spire trebuie bobinate pe un cilindru de carton cu lungimea $l = 60$ cm și diametrul $d = 5$ cm, pentru a obține o bobină cu inductanța $L = 6 \cdot 10^{-3}$ H? Se va lua $k = 1$.

△ 32.21. Pe un cilindru de lemn se află o bobină din sîrmă de cupru cu masa $m = 50$ g. Distanța dintre spirele extreme este mult mai mare decît diametrul cilindrului și egală cu 60 cm. Rezistența bobinajului este $R = 30\ \Omega$. Care este inductanța ei?

○ 32.22. Două bobine cu inductanțele $L_1 = 5$ mH și $L_2 = 3$ mH sînt legate în serie și dispuse astfel încît cîmpurile lor magnetice se întăresc reci-

proc. Inductanța acestui sistem este egală cu 11 mH. Cu cît este egală inductanța mutuală a celor două bobine?

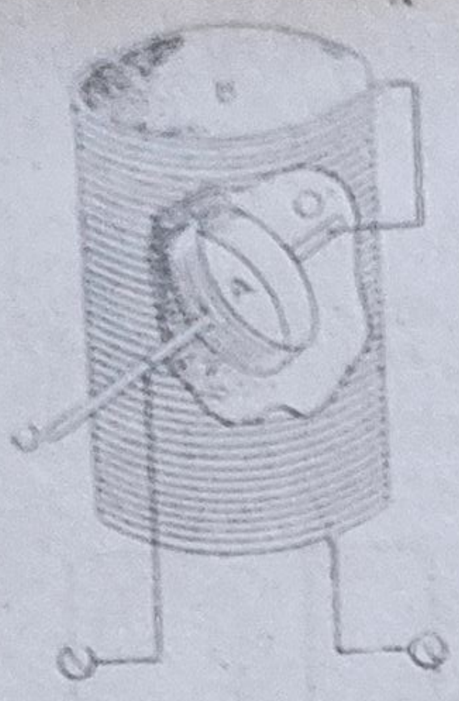


Fig. 32.23.

○ 32.23. O bobină A se află în interiorul altei bobine B de dimensiuni mai mari și se poate roti în jurul unei axe OO' perpendiculară pe axele comune ale celor două bobine (vezi figura 32.23). Pentru ce poziție relativă a celor două bobine legate în serie inductanța sistemului este: a) maximă?, b) minimă?, c) egală cu suma inductanțelor bobinelor?

○ 32.24. Coeficientul k din formula inductanței bobinelor cu un singur strat de spire are valorile date în următorul tabel:

diametru / lungime	0	0,02	0,1	0,2	0,33	0,5	1	2	5	10	100
k	1	0,992	0,959	0,920	0,872	0,818	0,688	0,526	0,320	0,203	0,035

Cum se explică faptul că, pentru bobine lungi, coeficientul k este mai mare decît pentru bobine scurte și de același diametru?

△ 32.25. Folosind tabelul din problema 32.24 să se calculeze inductanța: a) unei bobine cu un singur strat de spire bobinate una lîngă alta, pe o carcasă de lemn cu lungimea de 10 cm și diametrul de 5 cm. Diametrul firului bobinei împreună cu stratul izolator este de 0,5 mm; b) unui inel cu diametrul de 10 cm confecționat din sîrmă cu diametrul de 1 mm.

△ 32.26. a) Folosind tabelul din problema 32.24, să se calculeze inductanța mutuală a două bobine identice ale căror diametre sînt egale cu lungimea lor, bobinate compact și legate în serie astfel încît fluxurile lor magnetice să fie de același sens. Inductanța fiecărei bobine este de 10 mH. b) Cu cît este egală inductanța mutuală a aceloraşi bobine, dacă ele sînt depărtate la o distanță egală cu lungimea lor?

△ 32.27. a) Să se calculeze inductanța unei bobine cu circuit magnetic închis (solenoid inelar) avînd 1 000 spire, secțiunea inelului fiind de 25 cm², diametrul său mediu $d = 20$ cm, parcursă de un curent $I = 1$ A. Proprietățile magnetice ale fierului sînt date în curba din figura 31.XX. b) Aceeași întrebare pentru $I = 0{,}1$ A.

△ 32.28. Cum depind de intensitatea curentului inductanțele a doi solenoizi inelari avînd miezuri de fier cu goluri interioare ale căror secțiuni sînt date în figura 32.28?

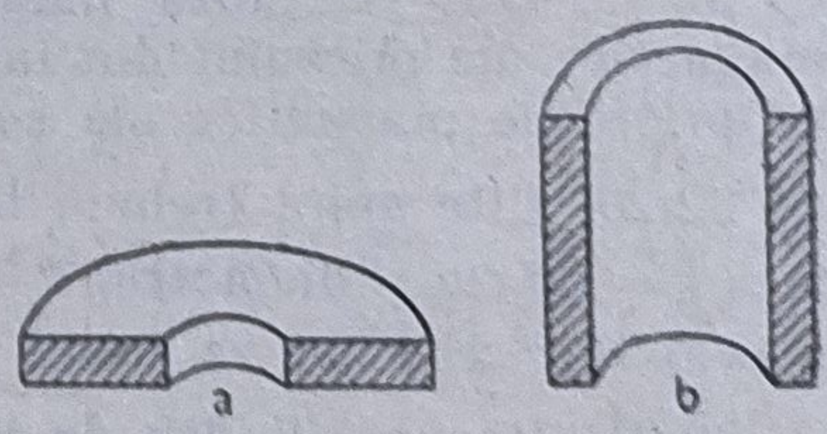


Fig 32.28.

△ 32.29. Miezul unui solenoid inelar este format din două porțiuni cu secțiunile S_1 și S_2 și permeabilitățile μ_1 și μ_2. Lungimea medie a liniilor de forță este l, iar numărul de spire este N. Să se calculeze inductanța solenoidului.

△ 32.30. Să se calculeze inductanța unui circuit cu lungimea $l = 1\,500$ m format din două conductoare cu diametrul $d = 1$ mm aflate la distanța $a = 2$ cm. Se neglijează cîmpul magnetic din interiorul conductoarelor.

○ 32.31. O bobină cu rezistența de 10 Ω și inductanța de 58 m H se conectează la o tensiune constantă. După cît timp curentul în bobină va ajunge la jumătate din valoarea curentului de regim ?

○ 32.32. În figura 32.32 este reprezentată schema unei transmisii telegrafice. Aparatul A funcționează cu ajutorul curentului dat de bateria locală E_2 conectată prin intermediul releului P pus în funcțiune de curentul de pe linie. Cît timp va trece din momentul conectării contactului K pînă la închiderea circuitului local, dacă rezistența electrică a întregii linii este 80 Ω, inductanța de 0,6 H, t.e.m. a bateriei este de 20 V. Pentru punerea în funcțiune a releului este necesar un curent de 0,2 A.

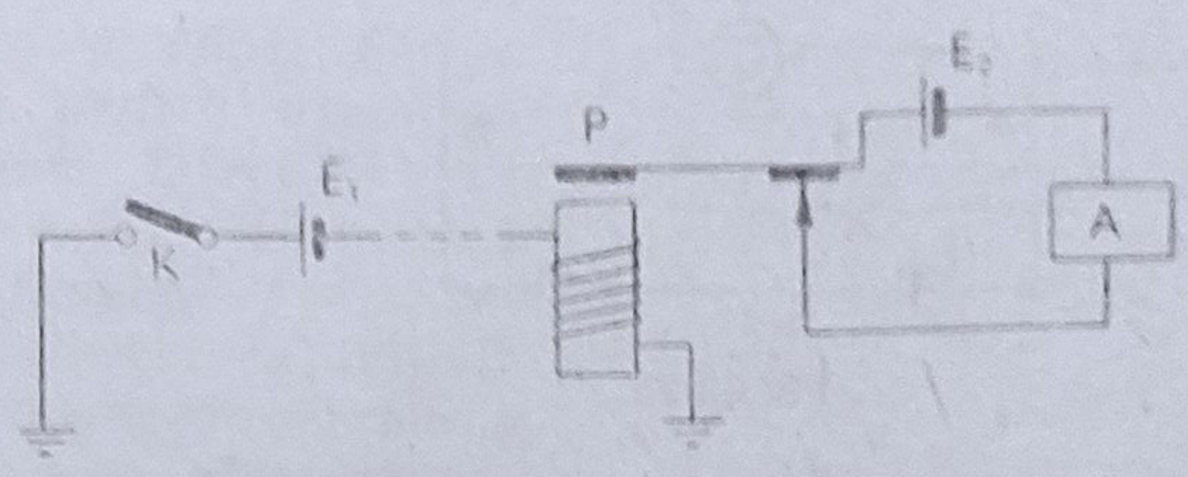


Fig. 32.32.

□ 32.33. O bobină cu rezistența de 0,7 Ω și inductanța de 0,2 H se află timp de 0,3 s sub tensiunea de 100 V. Cum se va modifica în acest caz temperatura firului de cupru care are masa de 2,5 kg dacă izolația firului nu și-a modificat temperatura ?

□ 32.34. În figura 32.34 este reprezentată variația intensității curentului unui drosel* la conectarea lui la o sursă de curent constant. a) Cu cine sînt egale ariile $OABO$ și $OCAO$? b) Folosind graficul, să se calculeze inducția magnetică a cîmpului din miezul droselului după 0,5 s de la conectarea sursei dacă se cunosc următoarele date : înfășurarea droselului este formată dintr-un conductor de cupru cu aria secțiunii $S = 1$ mm², diametrul miezului este $d = 5$ cm iar rezistența electrică a întregii rețele din afara bobinei se neglijează.

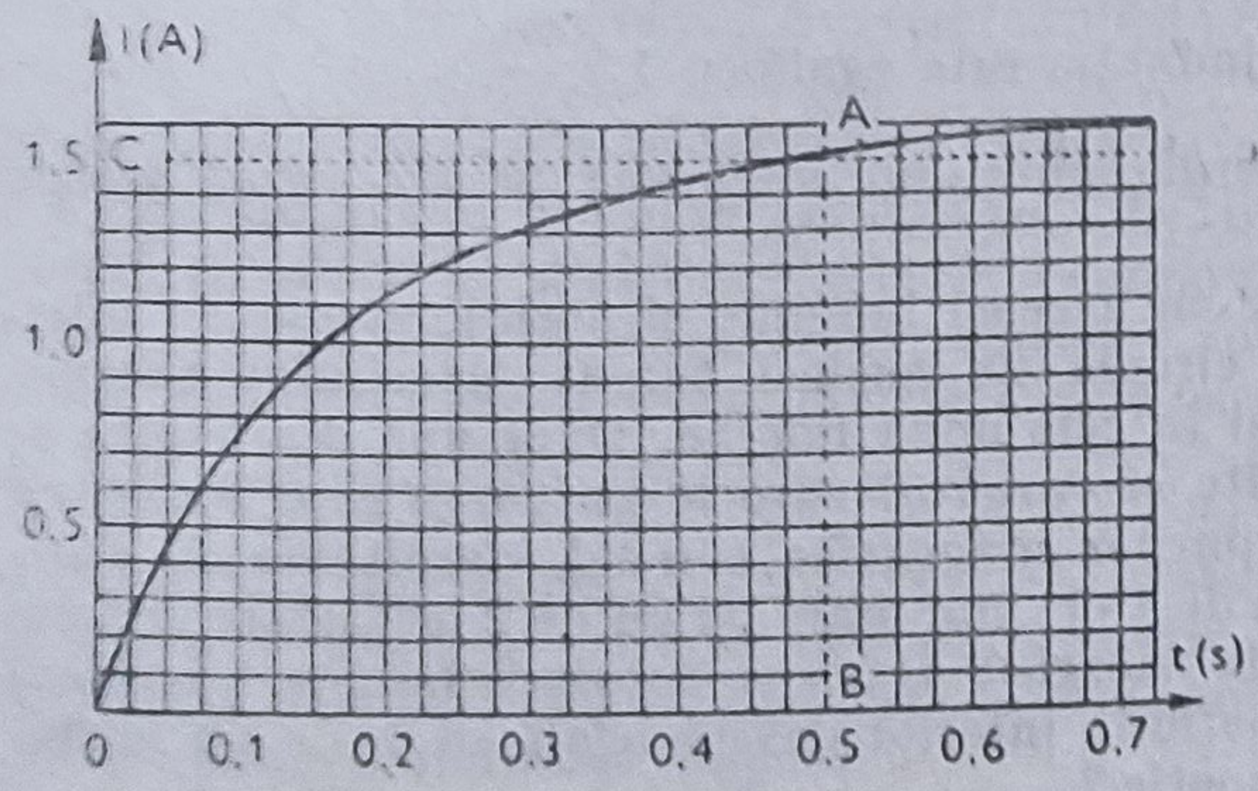


Fig. 32.34.

△ 32.35. În figura 32.35 este reprezentată schema punții Wheatstone cu care se măsoară rezistența ohmică a unei bobine cu inductanța $L = 0{,}1$ H. Contactele K_1 și K_2 se conectează succesiv, mai întîi K_1 și apoi K_2. Deplasînd cursorul D de-a lungul firului AB se ajunge la situația cînd, prin conectarea lentă a celor două contacte, acul galvanometrului nu deviază. a) În ce sens va circula curentul în puntea DC dacă cele două întrerupătoare se conectează bruse ? b) Cu cît este egală diferența de potențial dintre punctele D și C din

---

* Bobină cu miez de fier.

schemă, după $t = 0{,}001$ s după conectarea contactului K_1 dacă rezistența bobinei $R_1 = 120\ \Omega$, rezistența $R_2 = 80\ \Omega$ t.e.m. a sursei de curent este egală cu $E = 1{,}4$ V? Se neglijează rezistența interioară a sursei de curent, rezistența firelor de legătură și inductanța celorlalte elemente de circuit în afară de bobină.

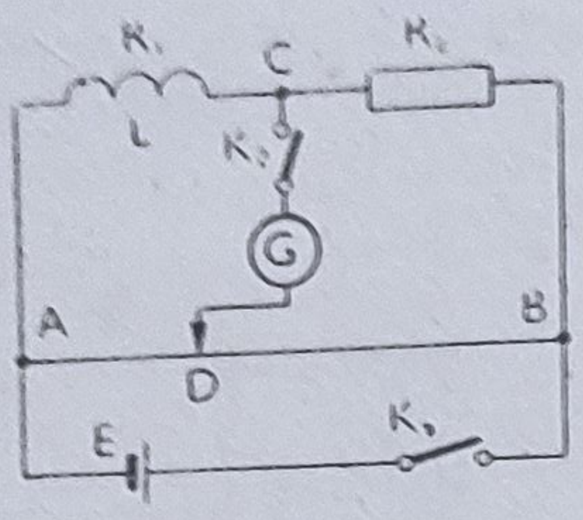


Fig.32.35.

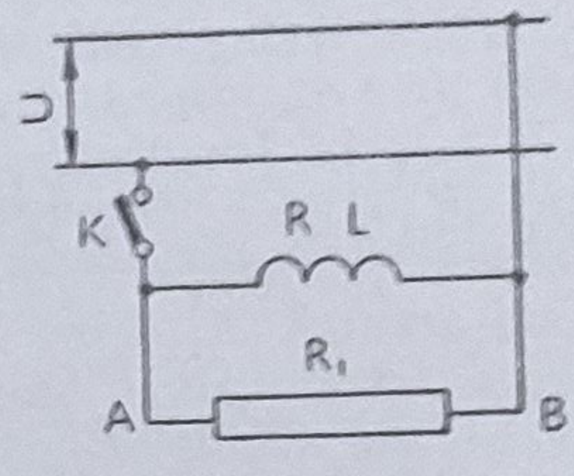


Fig.32.36.

△ 32.36. O bobină cu inductanța de 6 H și rezistența electrică de 200 Ω și o rezistență fără inductanță de 1 000 Ω sînt legate în paralel la o linie electrică cu tensiunea de 120 V (vezi figura 32.36). Ce tensiune va exista între punctele A și B de pe schemă, după 0,001 s de la închiderea contactului K?

△ 32.37. O bobină fără miez de fier are 10 000 spire cu diametrul de 5 cm. Lungimea bobinei este egală cu 50 cm. Înfășurarea este făcută dintr-un conductor de cupru cu secțiunea de 0,1 mm². După cît timp de la conectarea bobinei la o baterie de acumulatori, curentul atinge valoarea $I = 0{,}99\ I_o$, unde I_o este curentul de regim? Tabelul valorilor factorului k este dat la problema 32.24.

○ 32.38. Să se calculeze energia cîmpului magnetic într-un miez de fier cu volumul de 400 cm³ dacă inducția este egală cu $1{,}2\ \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

○ 32.39. Să se calculeze energia cîmpului magnetic pentru cazul descris în problema 31.26.

○ 32.40. Se dau două bobine cu aceeași lungime și același număr de spire. Dacă prin cele două bobine circulă un același curent, densitatea energiei cîmpului magnetic este aceeași în cele două bobine. Dacă una din bobine se introduce în interiorul celeilalte și curentul care le parcurge este același ca mai înainte iar sensurile cîmpurilor magnetice coincid, densitatea de energie în bobina interioară devine de 4 ori mai mare (și nu de 2 ori). Pe seama cui se dublează această creștere de energie? Dacă se întoarce bobina interioară cu 180° energia cîmpului magnetic în interior devine egală cu 0. Ce s-a întîmplat cu energia cîmpului magnetic?

○ 32.41. Înfășurarea unui electromagnet are o rezistență de 10 Ω și inductanța de 0,2 H și se leagă la o tensiune constantă. După ce interval de timp t se va dezvolta în înfășurare o cantitate de căldură egală cu energia cîmpului magnetic din miezul de fier?

○ 32.42. Cu cît este egală energia cîmpului magnetic într-o bobină cu lungimea de 50 cm și diametrul de 25 cm, avînd 10 000 spire fără miez de fier, dacă este parcursă de un curent de 2 mA (vezi problema 32.24)?

△ 32.43. Să se calculeze energia cîmpului magnetic corespunzătoare unității de lungime a unui conductor rectiliniu infinit de lung parcurs de un curent I. Să se explice rezultatul obținut.

△ 32.44. a) Să se calculeze energia cîmpului magnetic din bucla formată din două conductoare (vezi problema 32.30), parcursă de un curent cu intensitatea de 8 A; b) Să se rezolve aceeași problemă considerînd conductorii infinit de subțiri.

△ 32.45. Pentru demonstrarea fenomenului de autoinducție în cazul deschiderii unui circuit se folosește montajul din figura 32.45. În paralel cu o bobină de șoc de inductanță mare se leagă un bec de 120 V. Montajul este alimentat de la o baterie de acumulatori de 4—6 V. În aceste condiții filamentul becului se încălzește foarte puțin. La întreruperea curentului, becul luminează pentru o clipă. Să se calculeze temperatura filamentului pentru următoarele condiții: a) inductanța bobinei $L = 0{,}03$ H; b) intensitatea curentului $I = 5$ A; c) filamentul este confecționat din wolfram și are lungimea $l = 43$ cm și diametrul $d = 0{,}019$ mm; d) temperatura inițială este $t_1 = 100°C$. Se presupune că întreaga energie a cîmpului magnetic servește la încălzirea filamentului.

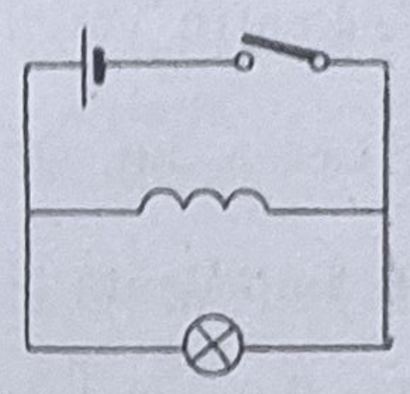


Fig. 32.45.

□ 32.46. Spirele unei bobine sînt înfășurate des pe un toroid de fier și sînt parcurse de un curent variabil periodic cu alternanțe egale în ambele sensuri. În aceste condiții intensitatea cîmpului magnetic din toroid variază proporțional cu intensitatea curentului din înfășurare. Dependența inducției magnetice de intensitatea cîmpului magnetic pentru cazul dat este reprezentată în figura 32.12 (ciclul de hysterezis). Calculînd densitatea de energie a cîmpului magnetic în fier după formula XI, vom obține pentru stările corespunzătoare punctelor ACD și E ale graficului valorile 0, iar pentru punctele L și K valori negative. Cum se explică aceste rezultate?

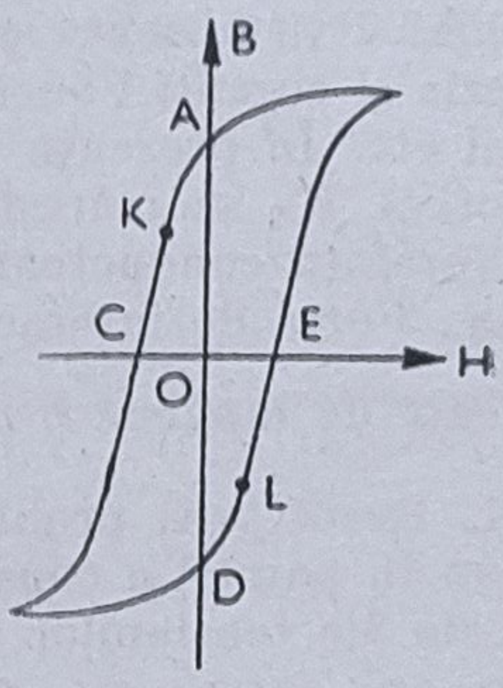


Fig. 32.46.

□ 32.47. Fie un magnet permanent în formă de inel cu un întrefier de lărgime 4 mm. Diametrul mediu al inelului este de 10 cm, iar secțiunea inelului are formă circulară cu diametrul mic în comparație cu diametrul inelului. În aceste condiții cîmpul magnetic în întrefier se poate considera omogen, iar suprafața întretăiată de fluxul magnetic este aceeași în întrefier și în miez. Inducția magnetică în întrefier este de $0{,}01 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$: a) Cu cît este egală intensitatea cîmpului mâgnetic în inel? b) Cu cît este egală densitatea energiei cîmpului magnetic în inel? c) Cu cine este egală suma energiilor cîmpurilor magnetice în inel și în întrefier? Indicație: Se va aplica teorema relativă la circulația intensității cîmpului magnetic.

§ 33. Curenți periodici

I. Valorile efective ale curentului și tensiunii: $I_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt$; $U_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T u^2 dt$ (T — perioada curentului, i, u — valorile momentane ale intensității curentului și tensiunii). În textele problemelor, dacă nu există mențiuni speciale, valorile efective se vor nota cu I și U.

II. În cazul curenților sinusoidali: $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

III. Valorile medii ale curentului și tensiunii: $I_{med} = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} idt$; $V_{med} = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} udt$.

IV. Pentru curenți sinusoidali: $I_{med} = \frac{2}{\pi}$; $I_m : U_{med} = \frac{2}{\pi} U_m$.

V. Legea lui Ohm pentru curenți sinusoidali: $I = \frac{U}{Z}$ (Z — impedanța).

VI. Impedanța la legarea R, L, C în serie: $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

VII. Puterea activă: $P = I_{ef} U_{ef} \cos \varphi$.

VIII. Rezistența activă: $R_A = \frac{P}{I_{ef}^2} = Z \cos \varphi$. R_A este egală cu rezistența ohmică în absența pierderilor prin încălzirea miezurilor de fier prin histerezis și curenți Foucault, prin încălzirea dielectricilor în cîmp electric variabil etc. În prezența acestor pierderi $R_A > R$. La frecvențe înalte rezistența activă R_A se mărește datorită faptului că, practic, tot curentul circulă la suprafața conductoarelor.

IX. Forța de interacțiune dintre doi curenți care circulă prin două conductoare de lungime l, paralele, situate la distanța b: $F = \frac{\mu I_1 I_2 l \cos \varphi}{2\pi b}$.

X. Rezolvarea problemelor de curent alternativ, privind gruparea în serie sau în paralel a consumatorilor se simplifică prin folosirea diagramelor fazoriale ale tensiunilor și curenților.

○ 33.1. Valoarea efectivă a unui curent este 7 A. Care este intensitatea medie a curentului?

△ 33.2. Un curent alternativ redresat prin suprimarea unei alternanțe trece 10 min printr-o soluție de sulfat de cupru, iar la catod se separă 200 mg cupru. Care este intensitatea maximă a curentului? (vezi figura 33.2).

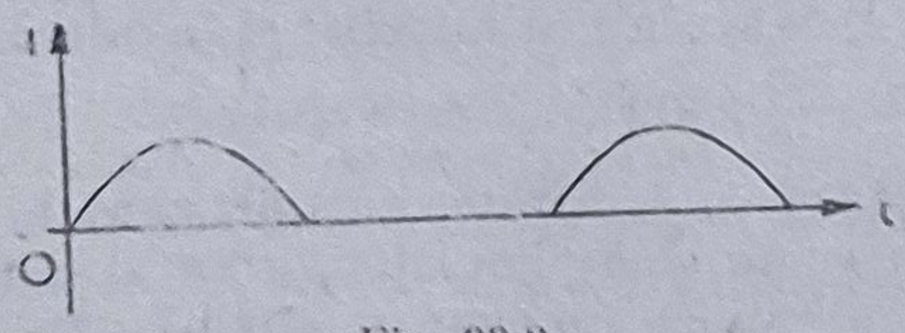


Fig. 33.2.

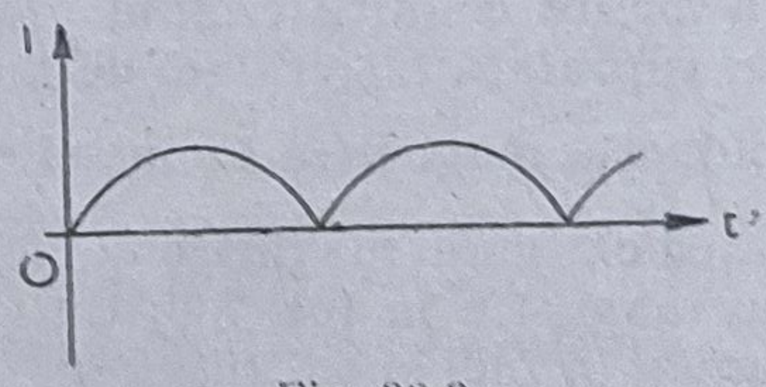


Fig. 33.3.

△ 33.3. a) Un acumulator cu capacitatea $q = 20$ A.h este încărcat cu un curent sinusoidal redresat reprezentat pe graficul din figura 33.3. Un ampermetru termic introdus în circuit indică $I = 1{,}5$ A. Cît timp trebuie încărcat acumulatorul? b) Cît timp durează încărcarea dacă graficul curentului este cel din figura 32.2 iar indicația ampermetrului termic este aceeași?

□ 33.4. Mărind tensiunea la bornele unui bec cu neon la 80 V el luminează. Micșorînd tensiunea la 70 V se stinge. Lampa este conectată la rețeaua de curent alternativ printr-un potențiometru și se mărește tensiunea. a) La ce tensiune efectivă becul luminează? b) Cît timp luminează fiecare electrod în raport cu timpul total de funcționare, dacă tensiunea efectivă este 120 V?

○ 33.5. În figura 33.5 este reprezentat unul din dispozitivele folosite pentru măsurarea mobilității ionilor. În spațiul dintre doi electrozi A și B pătrund prin ochiurile electrodului A ioni de un anumit semn. Electrozii A și B se află sub o tensiune sinusoidală a cărei valoare maximă poate fi variată. Mărind tensiunea curentului alternativ la o anumită valoare, ionii ajung la electrodul B și galvanometrul G indică prezența unui curent. La măsurarea mobilității ionilor negativi de oxigen, distanța între electrozi a fost $d = 1$ cm iar deviația acului s-a obținut pentru $U = 61{,}5$ V. Dacă $\nu = 50$ Hz care este mobilitatea ionilor?

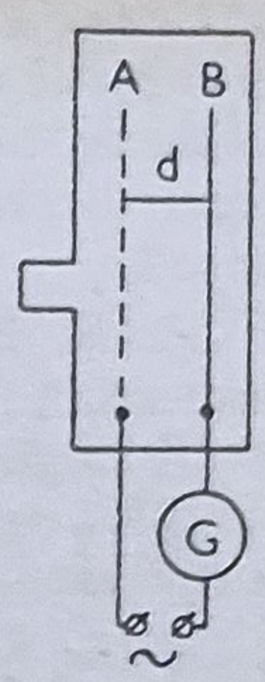


Fig. 33.5.

○ 33.6. O baterie de acumulatori cu t.e.m. $= 40$ V este introdusă într-un circuit de curent alternativ ($U = 120$ V), printr-o rezistență $R = 80\ \Omega$ (vezi figura 33.6). Ampermetrul A_1 este magnetoelectric, iar ampermetrul A_2 este termic. a) Care vor fi indicațiile ampermetrelor? b) Ce cantitate de căldură se degajă în rezistența R în 10 s? Rezistențele interioare și ale firelor de legătură se neglijează.

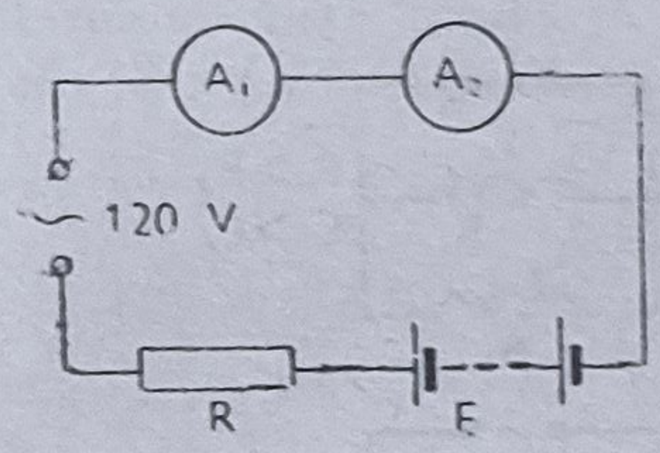


Fig. 33.6.

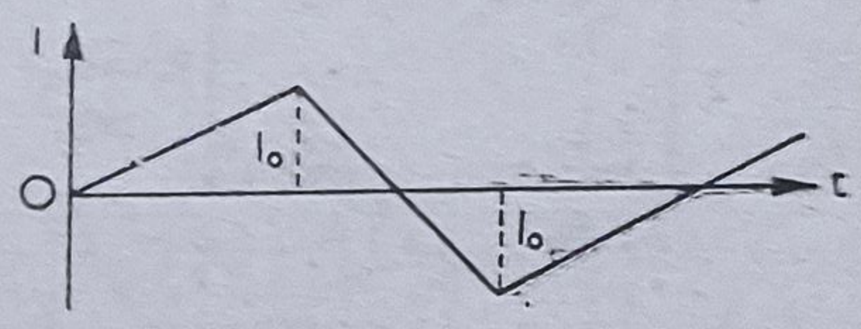


Fig. 33.7.

△ 33.7. Să se găsească expresiile intensității curenților efectiv și mediu în cazul curentului alternativ reprezentat pe figura 33.7 în funcție de intensitatea maximă.

□ 33.8. Să se traseze graficele tensiunii pentru care curentul are forma din graficul 33.7. Se vor considera cazurile: a) Receptorul posedă numai rezistență ohmică R; b) $R \ll X_L$; c) R este de același ordin de mărime cu X_L; d) Receptorul este o reactanță capacitivă.

○ 33.9. La ce tensiune aplicată unui drosel cu rezistența ohmică de 35 ohmi și inductanța de 0,1 H curentul este de 3 A? Frecvența este de 50 Hz.

○ 33.10. Ce capacitate trebuie să aibă un condensator pentru ca reactanța lui să fie echivalentă cu rezistența unui reostat cu $R = 500\ \Omega$ dacă frecvența curentului este: a) 50 Hz? b) 50 000 Hz?

○ 33.11. Defazajul între intensitate și tensiunea aplicată unei bobine cu $R = 10\ \Omega$ la frecvența de 50 Hz este 60°. Să se calculeze inductanța bobinei.

△ 33.12. Pe o carcasă de carton cu lungimea $l = 50$ cm și diametrul $d_2 = 5$ cm se află $N = 500$ spire din cupru cu diametrul $d_1 = 0{,}5$ mm. Pentru ce frecvență $X_L = 2R$?

□ 33.13. a) Un inel cu diametrul $d_1 = 10$ cm confecționat din cupru cu diametrul $d_2 = 1$ mm se rotește într-un cîmp magnetic omogen. $\left(B = 10^5 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\right)$ cu frecvența $n = 10\ \text{s}^{-1}$. Inductanța acestui inel este $L = 3{,}5 \cdot 10^{-7}$ H (vezi problema 32.24). Să se calculeze curentul efectiv în inel. b) Cît ar fi curentul dacă inelul devine supraconductor?

△ 33.14. Pe un inel de lemn cu diametrul $d = 30$ cm este bobinată o sîrmă de cupru cu masa $m = 2$ kg. Bobina se conectează întîi la o sursă de curent continuu, apoi la o sursă de curent alternativ ($\nu = 50$ Hz), a cărei tensiune efectivă este egală cu tensiunea continuă. În ce caz este necesară o putere mai mare?

△ 33.15. Înfășurarea unui drosel ($R \ll X_L$) se conectează la o tensiune sinusoidală. Fenomenele de hysterezis se manifestă slab, iar curenții Foucault pot fi neglijați. Fluxul magnetic prezintă variații apreciabile și în anumite fracțiuni de perioadă trece prin valoarea de saturație. a) Curentul prin înfășurare este sinusoidal? b) Dar fluxul magnetic în miezul droselului?

○ 33.16. Să se reprezinte diagramele fazoriale pentru tensiunile și curenții din circuitele din schemele 33.16.

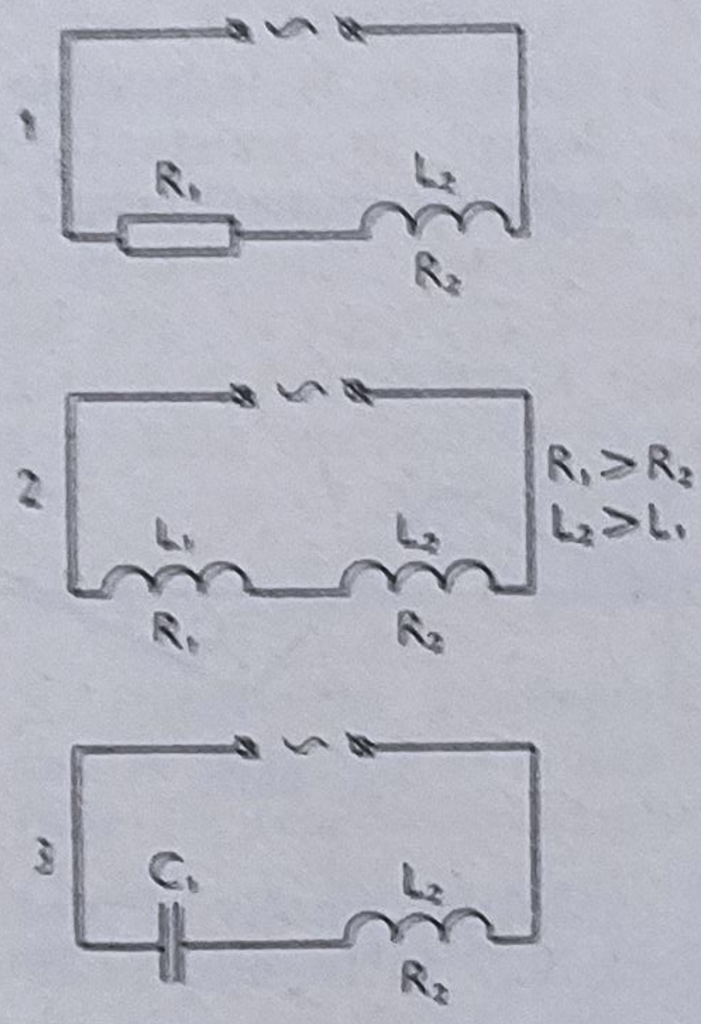


Fig. 33.16.

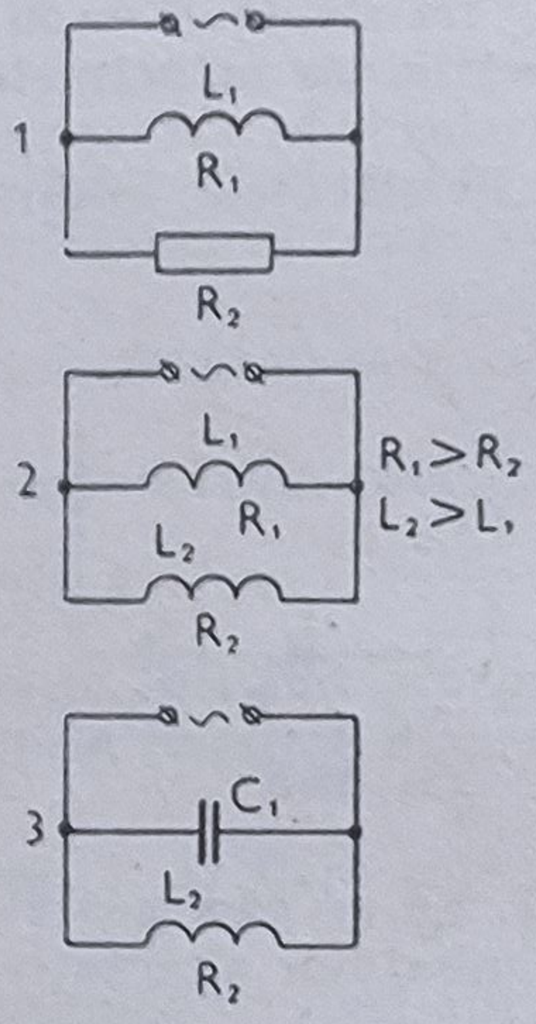


Fig. 33.17.

○ 33.17. Aceleași întrebări pentru cazurile din figura 33.17.

○ 33.18. Un condensator ($C = 20$ μF) și un rezistor ($R = 150$ Ω) se leagă în serie și se conectează la $U = 110$ V, $\nu = 50$ Hz. Să se afle I, U_C, U_R.

○ 33.19. Un drosel cu $R = 120$ Ω se leagă în serie cu un condensator de 10 μF și se conectează la $U = 220$ V, $\nu = 50$ Hz. Cunoscînd $I = 1$ A, să se afle inductanța droselului.

○ 33.20. La rețeaua de curent alternativ (120 V, 50 Hz) se leagă în paralel un condensator (20 μF) și un drosel (100 Ω, 0,5 H). Să se afle curenții în condensator, în drosel și curentul total.

○ 33.21. Un reostat (60 Ω), și un drosel (20 Ω, 0,05 H) se leagă în paralel la rețeaua de curent alternativ (50 Hz). Prin drosel circulă un curent de 4 A. Care este curentul prin reostat și curentul total absorbit din rețea?

△ 33.22. O bobină ($L = 0{,}1$ H, $R = 2$ Ω) se leagă în serie cu un condensator și se alimentează la o tensiune alternativă. a) Care trebuie să fie capacitatea condensatorului pentru ca la frecvența de 50 Hz curentul prin bobină să fie maxim? b) Tensiunea la bornele condensatorului nu poate depăși 400 V. La ce tensiune maximă poate fi alimentat circuitul?

○ 33.23. La bornele unui generator de curent alternativ se măsoară $I = 540$ A, $U = 235$ V, $P = 108$ kW. Care este defazajul?

○ 33.24. Să se afle pierderile de putere în conductoarele de legătură la rețea (220 V) dacă puterea absorbită este 100 kW, rezistența conductoarelor este 0,01 Ω, iar defazajul este 37°.

△ 33.25. Un drosel legat în serie cu o rezistență $R = 20$ Ω (fără inductanță) este alimentat la $U = 120$ V ($\nu = 50$ Hz). Tensiunile pe drosel și rezistență sînt respectiv $U_2 = 91$ V, $U_1 = 44$ V. Să se afle puterile absorbite P_1 și P_2.

△ 33.26. Un drosel și o rezistență fără inductanță de 50 Ω se leagă în paralel la rețeaua de curent alternativ. Curenții sînt: $I_d = 2{,}8$ A, $I_R = 2{,}5$ A, $I = 4{,}5$ A. Să se afle puterile consumate de drosel și de rezistență.

△ 33.27. Rezistența ohmică a unui drosel este 14 Ω, cea activă 17 Ω, cea aparentă 40 Ω. Să se afle pierderile de putere în miezul de fier dacă tensiunea $U = 120$ V.

△ 33.28. Instalația electrică a unui apartament se conectează la rețeaua de 120 V, 50 Hz printr-un drosel cu $L = 0{,}05$ H și cu rezistența activă $R_0 = 1$ Ω (vezi figura). a) Sub ce tensiune U_1 funcționează becurile din apartament, dacă curentul total absorbit din rețea este $I_0 = 2$ A? b) Care poate fi puterea maximă absorbită din rețea? c) Ce putere se disipă în drosel dacă se produce un scurtcircuit în apartament?

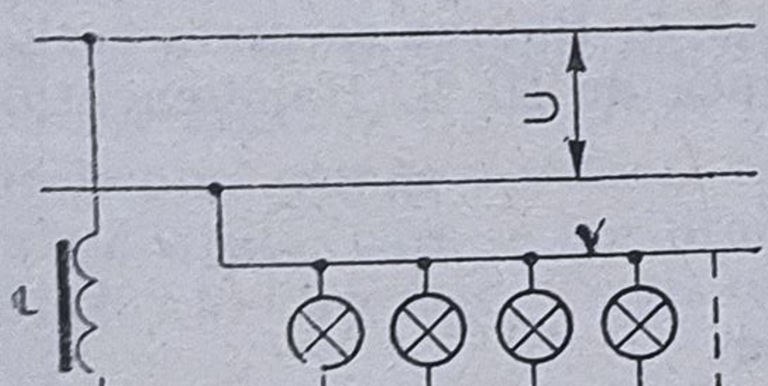


Fig. 33.28.

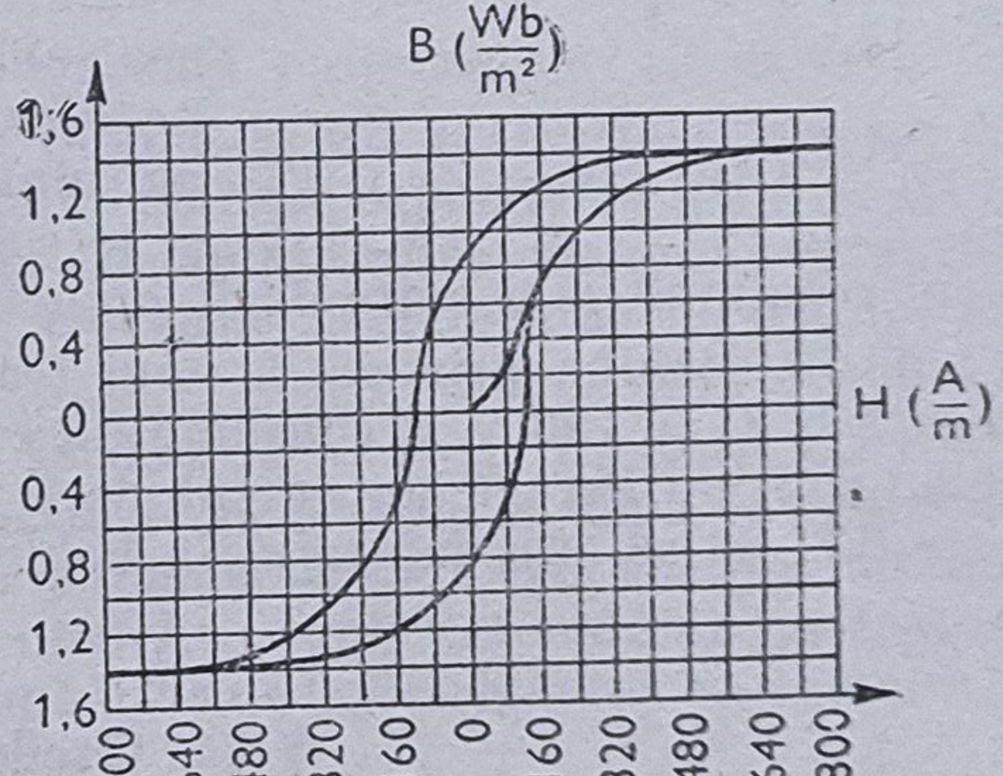


Fig. 33.29.

□ 33.29. Prin înfășurarea unui drosel circulă un curent alternativ de 2 A ($\nu = 50$ Hz). Curentul produce în miez un cîmp magnetic maxim de $800 \frac{A}{m}$. Volumul miezului de fier este 50 cm³. În figura 33.29 este reprezentat ciclul de hysterezis al miezului. Rezistența ohmică a înfășurării este 0,7 Ω. Curenții Foucault se neglijează. a) Să se calculeze puterea cheltuită pentru încălzirea miezului prin hysterezis. b) Să se afle rezistența activă a droselului.

△ 33.30. Într-o soluție de sulfat de cupru ($\rho = 40$ Ω cm) se introduc două plăci de cupru. Permitivitatea relativă a soluției este $\varepsilon_r = 80$. Pentru ce frecvență reactanța capacitivă și rezistența ohmică sînt egale?

△ 33.31. Un condensator cu dielectric ($\varepsilon_r = 2{,}8$) aflat sub tensiune absoarbe o anumită putere astfel că, la $\nu = 50$ Hz, $\cos \varphi = 0{,}1$. Să se calculeze rezistivitatea dielectricului.

○ 33.32. Două conductoare paralele, aflate la distanța de 3 cm sînt parcurse de curenții de 5 A și 15 A defazați cu $\varphi = 60°$. Care este forța de interacțiune pe un metru de lungime?

○ 33.33. Prin două conductoare paralele circulă doi curenți cu frecvențele de 500 Hz și 503 Hz. Cum interacționează conductoarele?

△ 33.34. Care este forța portantă a unui electromagnet alimentat cu curent alternativ dacă inducția maximă este $B_m = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, secțiunea $S = 2$ cm², iar inducția variază după legea $B = B_m \sin \omega t$. Se presupune că în momentele în care inducția are valori mici corpul atras de electromagnet nu reușește să cadă.

□ 33.35. În figura 33.35 se dă o secțiune printr-o cască telefonică. M este membrana, K înfășurarea, A un magnet permanent, B piese polare din fier moale. a) De ce se folosește în construcția căștii telefonice un magnet permanent? b) Care este forța maximă exercitată asupra membranei la trecerea unui curent $I = I_m \sin \omega t$, dacă $I_m = 2 \cdot 10^{-4}$ A, inducția în aer, în absența curentului este $B_0 = 0{,}08 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, secțiunea fiecărei piese polare este $S = 15$ mm². Numărul de spire este $N = 400$ iar lungimea spațiului de aer este $l = 0{,}2$ mm. În calcul se neglijează reluctanța tuturor porțiunilor circuitului magnetic în afară de stratul de aer și se consideră că inducția magnetului permanent este mult mai mare decît inducția produsă în miezul bobinei de curent.

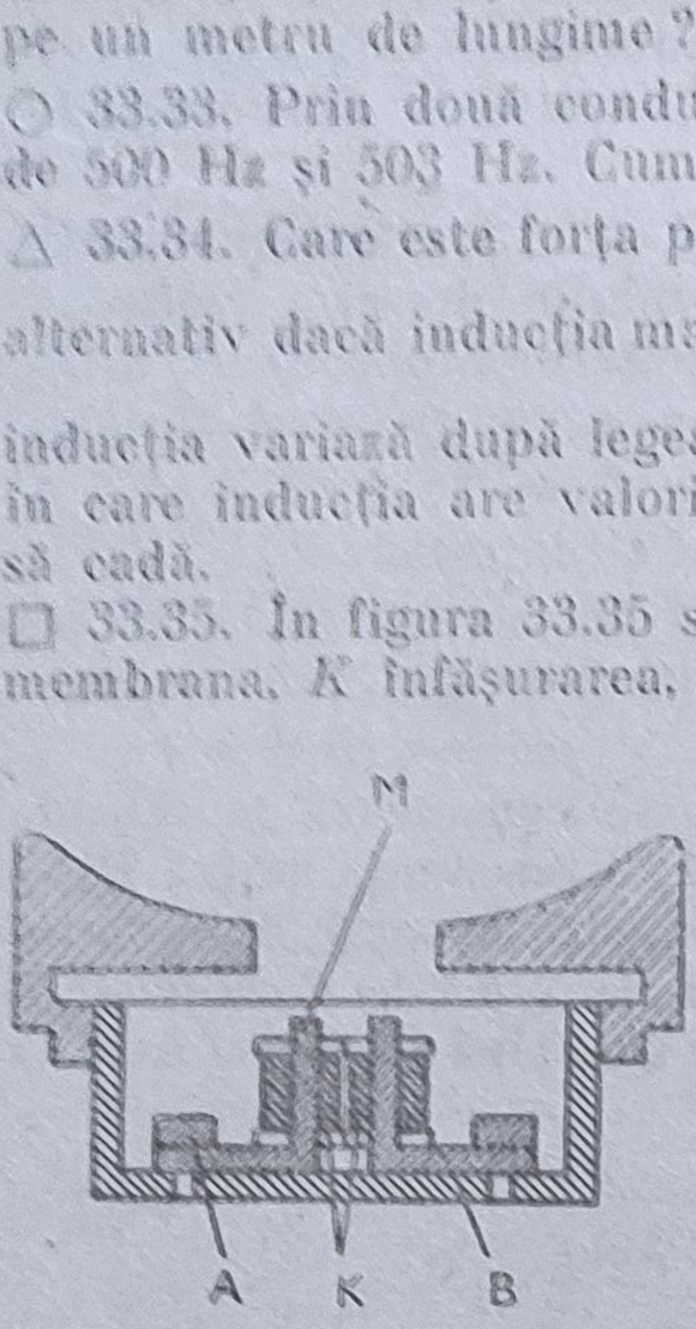


Fig. 33.35.

○ 33.36. Bobina primară a unui transformator coborîtor de tensiune este legată la $U = 120$ V și consumă un curent $I = 0{,}5$ A. Bobina secundară alimentează un bec cu un curent de 3 A la tensiunea de 10 V. Randamentul este 0,7. Să se afle defazajul în bobina primară.

§ 34. Oscilații electrice

I. Perioada oscilațiilor într-un circuit cu C, L, R: $T = \dfrac{2\pi}{\sqrt{\dfrac{1}{LC} - \dfrac{R^2}{4L^2}}}$.

Pentru $\dfrac{1}{LC} \gg \dfrac{R^2}{4L^2} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{LC}$.

II. Curentul în cazul oscilațiilor amortizate: $i = I_0 e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \omega t$.

III. Decrementul logaritmic $\theta = \dfrac{R}{2L} T$.

○ 34.1. Un circuit oscilant conține o bobină cu inductanța de 0,07 H și un condensator plan cu hîrtie parafinată cu $S = 0{,}45$ m², $d = 0{,}1$ mm. Care este perioada oscilațiilor? Rezistența se neglijează.

○ 34.2. Tensiunea maximă într-un circuit oscilant cu $L = 5 \cdot 10^{-6}$ H și $C = \frac{4}{3} \cdot 10^{-8}$ F este $U_0 = 1{,}2$ V. a) Care este valoarea efectivă a curentului

din circuit ? b) Care este valoarea maximă a fluxului magnetic din circuit, dacă numărul de spire este $N = 28$?

△ 34.3. Un circuit constă dintr-o bobină cu $L = 3 \cdot 10^{-3}$ H şi rezistenţa $R = 1\ \Omega$ şi dintr-un condensator cu $C = \frac{2}{9} \cdot 10^{-8}$ F. Ce putere consumă circuitul pentru a se produce oscilaţii neamortizate astfel încît, tensiunea maximă la armăturile condensatorului să fie 0,5 V ?

○ 34.4. O baterie de două condensatoare de 2 μ F fiecare se descarcă printr-o bobină ($L = 1$ mH, $R = 50\ \Omega$). Vor apărea oscilaţii dacă gruparea este : a) în paralel ?, b) în serie ?

▲ 34.5. Cum se modifică decrementul logaritmic dacă numărul de spire ale bobinei se măreşte de n ori. (Se consideră că lungimea bobinei şi diametrul spirelor nu se schimbă.)

▲ 34.6. Care este eroarea relativă la aplicarea formulei $T = 2\pi\sqrt{LC}$ pentru un circuit cu $C = \frac{5}{9} \cdot 10^{-8}$ F şi o bobină din sîrmă de cupru cu $S = 0{,}2$ mm^2. Lungimea bobinei este $l = 50$ cm. Diametrul bobinei $d \ll l$.

▲ 34.7. Care este decrementul logaritmic al amortizării oscilaţiilor din circuitul cu $C = \frac{2}{9} \cdot 10^{-8}$ F şi $L = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ H dacă, pentru a întreţine oscilaţii neamortizate cu $U_m = 0{,}9$ V, se consumă puterea $P = 10$ μ W ?

▲ 34.8. Într-un circuit format dintr-o bobină şi un condensator cu capacitate variabilă se produc oscilaţii forţate. Mărind capacitatea cu $\beta = 0{,}01$ din valoarea corespunzătoare oscilaţiilor de amplitudine maximă, curentul în circuit scade de $n = 1{,}5$ ori. Să se calculeze decrementul logaritmic al amortizării.

■ 34.9. În montajul din schema 34.9 se dau $R_1 = 1\ \Omega$, $R_2 = 50\ \Omega$, $L = 0{,}1$ H, $C = 1$ μ F, $E = 1{,}4$ V. Contactul K se închide şi după ce curentul în bobină atinge o valoare constantă, se deschide. a) Care este energia-iniţială a oscilaţiilor care se vor produce în circuitul LC după deschiderea contactului K ? b) Care este energia oscilaţiilor după 0,2 s de la deschiderea contactului?

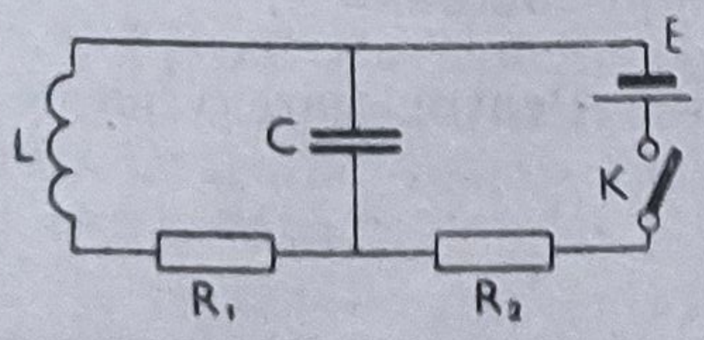


Fig. 34.9.

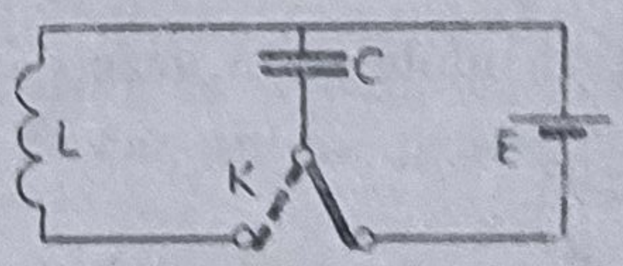


Fig. 34.10.

■ 34.10. Bobina din circuitul din figura 34.10 are $R = 14\ \Omega$ şi $L = 10^{-5}$ H, iar condensatorul are $C = 0{,}002$ μ F. Condensatorul se încarcă la bateria de acumulatori şi apoi se pune în legătură cu bobina. b) Să se afle decrementul logaritmic al amortizării oscilaţiilor din circuit. b) Ce fracţiune din perioadă corespunde trecerii curentului de la zero la valoarea maximă ? c) Să se afle relaţia dintre energiile cîmpului magnetic din bobină şi cîmpului electric din condensator în momentul cînd curentul are valoare maximă. d) Ce fracţiune din perioadă corespunde trecerii tensiunii de la valoarea maximă la zero ? e) Care este valoarea mărimii I_0 din formula intensităţii (vezi introducerea) dacă t.e.m. a bateriei este 3,5 V ?

CAPITOLUL IV

FENOMENE ONDULATORII

§ 35. Unde

1) **Formula lungimii de undă** $\lambda = \frac{c}{\nu}$ **(**c **— viteza undelor).**

2) **Viteza undelor longitudinale în vergele subțiri** $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ **(**E **— modulul lui Young).**

3) **Viteza undelor longitudinale într-un mediu elastic infinit** $c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ **(**K **— modulul de compresibilitate).**

4) **Viteza undelor transversale într-un mediu elastic infinit** $c = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ **(**G **— modulul de forfecare).**

5) **Viteza undelor transversale într-o coardă** $c = \sqrt{\frac{F}{S\rho}}$ **(**F **— forța de întindere,** S **— secțiunea). Formula este aplicabilă cînd tensiunile determinate de deplasarea particulelor sînt mici față de tensiunea din coardă.**

6) **Viteza undelor în gaze** $c = \sqrt{\frac{p\gamma}{\rho}}$, $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$. **Pentru gazele ideale** $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$.

7) **Legătura între variația maximă a presiunii** Δp **în undele longitudinale, viteza undelor și valoarea maximă a vitezei de oscilație** v_m. $\Delta p = v_m \rho c$. **Aici** ρ **reprezintă densitatea medie.**

8) **Fluxul de energie al undelor prin unitatea de suprafață perpendiculară pe direcția undelor în unitatea de timp (Vectorul Umov-Poynting)** $S = \Delta p \cdot v$ **(**Δp **— presiunea undelor adică diferența între presiunea în cîmpul ondulator și presiunea în același mediu în absența procesului ondulator,** v **= viteza de oscilație).**

9) **Intensitatea undelor longitudinale** $I = S_{med} = \frac{(\Delta p_m)^2}{2\rho c}$.

10) **Amortizarea undelor** $I = I_0 e^{-\beta x}$, **(**β **— coeficientul de absorbție,** I **și** I_0 **intensitățile undelor plane în două puncte aflate la distanța** x**).**

11) Viteza undelor electromagnetice $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$.

12) Vectorul Umov-Poynting $S = EH$.

○ 35.1. Viteza undelor longitudinale într-o vergea de oțel este 5 100 $\frac{m}{s}$. Să se afle modulul de elasticitate al oțelului.

○ 35.2. Care este viteza undelor longitudinale în mercur?

△ 35.3. Prin ridicarea temperaturii de la 20°C la 100°C viteza undelor longitudinale într-o vergea de cupru scade cu 7,4% față de viteza la 20°C. Care este coeficientul mediu de temperatură al modulului de elasticitate în acest interval de temperaturi?

△ 35.4. De ce într-un mediu solid infinit nu sînt posibile unde transversale?

△ 35.5. Viteza undelor longitudinale în scoarța Pămîntului este de 14 $\frac{km}{s}$, iar a celor transversale de 7,5 $\frac{km}{s}$. Să se afle distanța unghiulară între stația seismică B și epicentrul A al unui cutremur dacă pe seismograf se constată că undele longitudinale au ajuns cu 91 s mai devreme decît cele transversale (figura. 35.5). (Pentru această valoare a timpului se poate admite că undele s-au propagat numai prin scoarța terestră.)

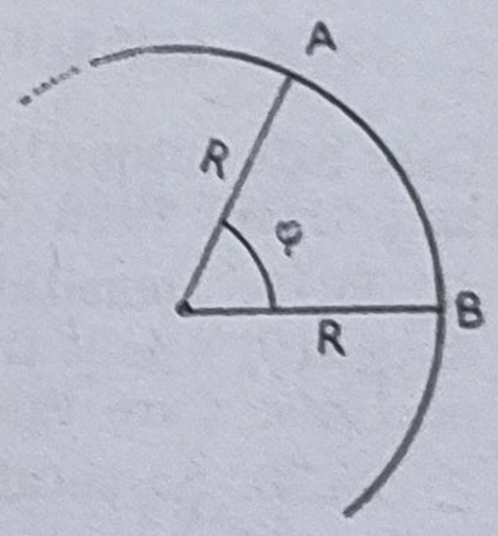


Fig. 35.5.

△ 35.6. De la suprafața Pămîntului se propagă vertical în sus unde prin aer. După cît timp ajung la înălțimea de 10 km dacă temperatura aerului la suprafața Pămîntului este de 16°C, iar gradientul de temperatură în atmosferă este $-0{,}007\ \frac{grad}{m}$?

○ 35.7. Viteza undelor longitudinale în oxigen, în condiții normale, este $3{,}172 \cdot 10^4\ \frac{cm}{s}$. Să se afle raportul căldurilor specifice γ.

○ 35.8. Să se afle raportul dintre viteza undelor longitudinale într-un gaz și viteza medie a agitației termice a moleculelor acelui gaz.

○ 35.9. La reflexia undelor elastice la suprafața dintre două medii diferite are loc variația orientării vectorului Umov-Poynting în sens opus, adică se modifică fie semnul lui Δp, fie semnul lui v. În ce caz are loc prima variație, în ce caz a doua?

○ 35.10. Să se afle frecvența oscilațiilor într-un tub cu lungimea de 80 cm la temperatura aerului de 16°C dacă tubul este: a) deschis; b) închis.

□ 35.11. Două tuburi închise, identice, cu lungimea de 60 cm, datorită diferenței temperaturii aerului din ele, dau o bătaie pe secundă. Temperatura în tubul care dă un sunet mai gros este 16°C. Care este temperatura aerului în celălalt tub?

○ 35.12. Două coarde identice, cu lungimea de 1 m, sînt acordate la unison. Dacă una din coarde se scurtează cu 0,5 cm corzile produc bătăi cu frecvența de 2 Hz. Să se afle frecvența sunetului produs (înainte de scurtare).

○ 35.13. Pe un fir iau naștere unde staționare, iar distanțele dintre punctele în care amplitudinea oscilațiilor este 3 mm sînt 3 cm și 7 cm. Să se afle lungimea de undă și amplitudinea oscilațiilor la ventre.

△ 35.14. Pe un fir iau naștere unde staționare. Ce fracțiune din tensiunea firului (în absența undelor) reprezintă tensiunea în noduri dacă amplitudinea oscilației la jumătatea firului este 0,1 din distanța dintre noduri? Proiecția forței de tensiune în fir pe direcția firului în repaus se ia egală cu tensiunea în fir în absența undelor.

○ 35.15. Să se calculeze trei frecvențe minime pentru care, într-o vergea de cupru cu lungimea de 90 cm, fixată la mijloc, se obțin unde staționare longitudinale.

○ 35.16. Prin aerul dintr-un tub cilindric cu diametrul de 5 cm se propagă unde sinusoidale. Intensitatea undelor este $8 \cdot 10^{-3} \frac{J}{m^2 s}$, frecvența este 300 Hz. a) Ce energie transportă fiecare undă? b) Care este densitatea medie și maximă a energiei undelor dacă temperatura aerului este de 10°C?

○ 35.17. Să se afle puterea unui izvor de unde longitudinale care se propagă prin aer dacă, într-o direcție oarecare, la distanța de 100 m, de izvor, amplitudinea presiunii este $0{,}09 \frac{N}{m^2}$. Presiunea este normală, temperatura aerului este de 20°C iar amortizarea oscilațiilor se neglijează.

△ 35.18. Intensitatea undelor la distanța de 20 m de sursă este $3 \cdot 10^{-5} \frac{J}{m^2 s}$. Care este intensitatea undelor la distanța de 100 m de sursă, coeficientul de amortizare fiind $5 \cdot 10^{-5}$ cm^{-1}?

○ 35.19. Densitatea de energie într-un punct oarecare al cîmpului ondulator, după 0,01 s de la trecerea maximului unei unde sinusoidale este 0,2 din valoarea maximă. Care este frecvența?

○ 35.20. Să se afle lungimea de undă corespunzătoare unui circuit oscilant format dintr-o bobină de $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ H și un condensator cu capacitatea de $3 \cdot 10^{-2}$ μF. Rezistența se neglijează.

○ 35.21. Care este viteza undelor electromagnetice în petrol?

○ 35.22. Două conductoare paralele sînt izolate într-o parte iar în cealaltă sînt cuplate inductiv sau capacitiv cu un generator de oscilații (figura 35.22, *a*). Prin alegerea corespunzătoare a frecvenței oscilațiilor apar unde staționare. a) Depinde lungimea de undă a undelor staționare de grosimea conductoarelor și de distanța dintre ele? b) În figura 35.22, *b* se indică prin săgeți de diferite mărimi intensitatea cîmpului electric în punctele de la jumătatea distanței dintre conductoare în unda staționară, într-un moment în care curenții în conductoare și cîmpul magnetic lipsesc. Unde se găsesc în conductoare sarcinile pozitive și cele negative? Să se reprezinte distribuția lor de-a lungul conductoarelor prin plusuri și minusuri de diferite dimensiuni corespunzător densităților lor. c) Ce se va întîmpla după un sfert de perioadă? Să se reprezinte distribuția curenților în conductoare și în plăcuța de cupru (punte)

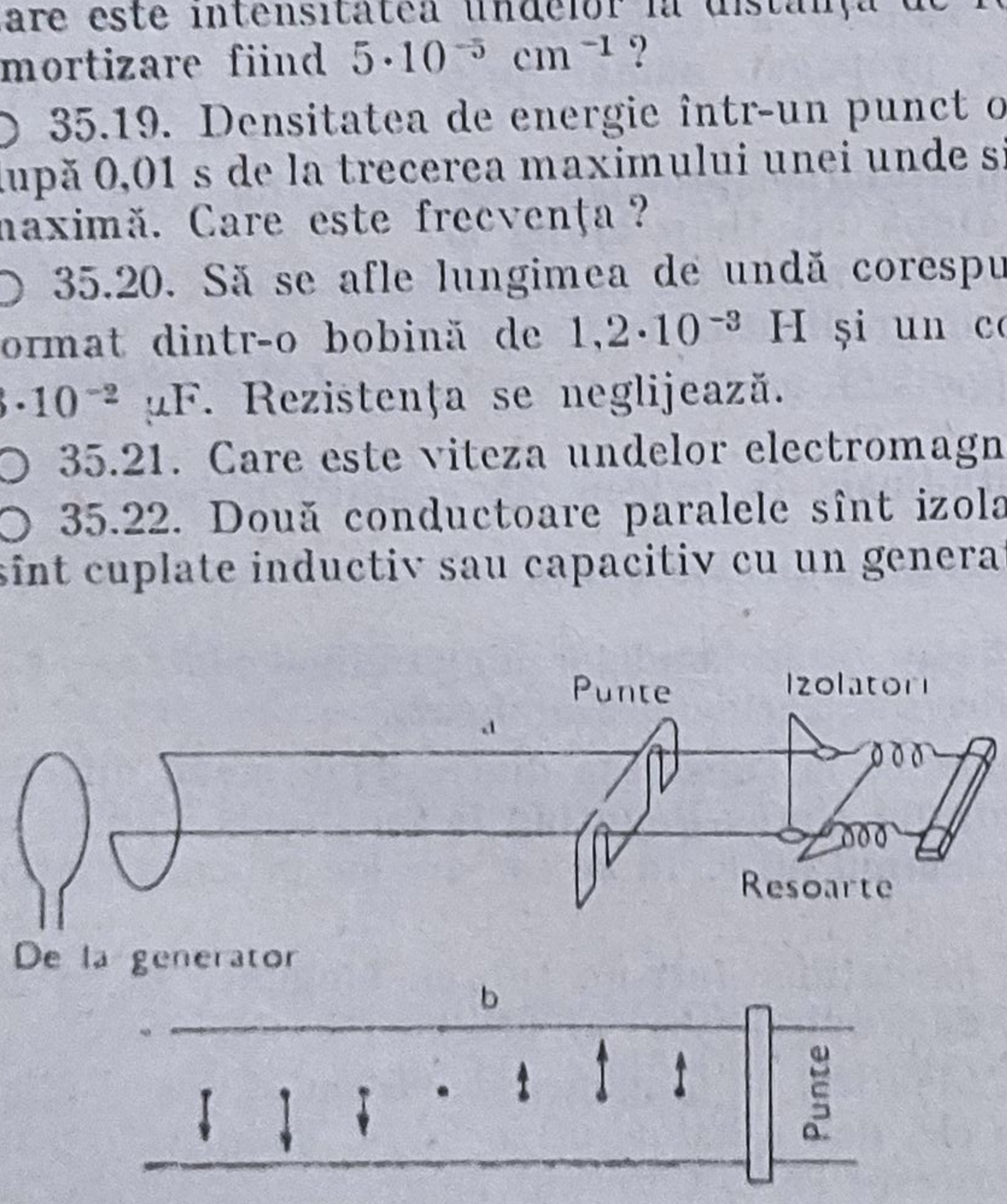


Fig. 35.22.

prin săgeți de diferite lungimi. Să se reprezinte intensitatea cîmpului magnetic la jumătatea distanței dintre conductoare prin simbolurile $\oplus$ și $\odot$, de diferite mărimi. d) Care vor fi intensitățile cîmpurilor electric și magnetic după 0,5 T și după 0,75 T ? Să se facă desenele corespunzătoare. e) De ce depinde amplitudinea oscilațiilor în sistem ? De ce prin mărirea numărului de ventre și noduri (la îndepărtarea punții de generator) amplitudinea oscilațiilor se micșorează ? f) Distanța dintre două ventre la scufundarea semiconductoarelor în alcool este de 40 cm. Care este frecvența oscilațiilor ? Indicație : Răspunsurile la toate întrebările cu excepția întrebării e) au în vedere că rezistența conductoarelor este neglijabilă.

△ 35.23. Radiația antenei unei stații de radioemisie are puterea de 50 W. Care este intensitatea medie a cîmpului electric la recepția cu o antenă cu priză de pămînt la distanța de 80 km ? Indicație : intensitatea radiației pe o direcție perpendiculară pe antenă este de trei ori mai mare decît în cazul unei radiații uniforme în toate direcțiile.

○ 35.24. Trei observatori aflați pe aceeași direcție la 10 km unul de altul măsoară intensitatea medie a cîmpului electric în undele electromagnetice produse de un emițător. Unde se află emițătorul dacă intensitatea cîmpului este aceeași pentru observatorii de la extremități, iar pentru cel din mijloc cu 10 % mai mare ?

△ 35.25. În figura 35.25, *a* se reprezintă două sisteme de unde electromagnetice plane (I și II) de aceeași lungime de undă. Direcțiile de propagare formează unghiul 2 *u*. Vectorii $\vec{E}$ sînt în planul figurii și se reprezintă prin săgeți. Vectorii $\vec{H}$ sînt perpendiculari pe planul figurii ($\odot$ sau $\otimes$). Sînt reprezentați și vectorii $\vec{S}$ (Umov-Poynting). În figura 35.25, *b* se reprezintă aceleași unde suprapuse. a) Să se reprezinte vectorii Umov-Poynting în punctele indicate în figura 35.25, *b* cu cerculețe negre. b) Să se găsească distanța *x* dintre direcțiile în care vectorii Umov-Poynting au valoarea maximă dacă $2u = 1'$ iar $\lambda = 0{,}5$ μm.

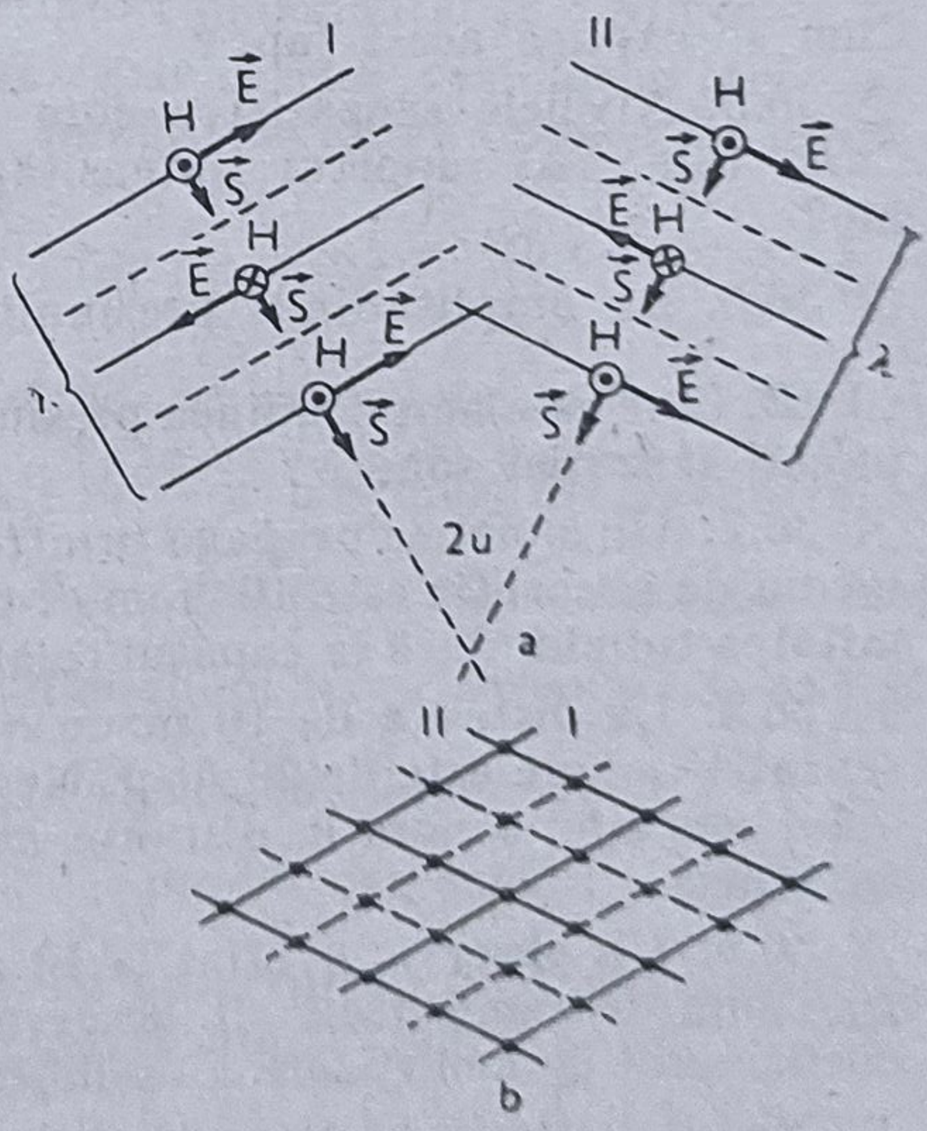


Fig. 35.25.

35.26. Presupunem că două fascicule de electroni se mișcă paralel în vid cu o viteză de m ori mai mică decît viteza luminii. Să se compare forța de respingere electrostatică cu forța de atracție determinată de interacțiunea magnetică.

§ 36. Fenomene sonore

1) Nivelul senzației sonore. $N_s = \lg \frac{I}{I_0} = 2 \lg \frac{\Delta p}{\Delta p_0}$ în care indicele 0 (zero) corespunde pragului senzației sonore pentru o frecvență dată.

2) Efectul Doppler : Frecvența recepționată : a) În cazul mișcării sursei sonore $\nu' = \nu \frac{1}{1 \pm \frac{v}{c}}$ (c — viteza sunetului) ; b) în cazul mișcării observatorului $\nu'' = \nu\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$.

○ 36.1. Ce fracțiune din viteza medie a moleculelor de aer reprezintă viteza acustică maximă a moleculelor într-o undă plană : a) cu amplitudinea presiunii $\Delta p_1 = 900 \frac{N}{m^2}$ (peste pragul senzației dureroase) ; b) cu amplitudinea presiunii $\Delta p_2 = 9 \cdot 10^{-4} \frac{N}{m^2}$ (limita de audibilitate). Presiunea aerului este normală.

○ 36.2. Care este amplitudinea oscilațiilor într-o undă sonoră, în aer, la vorbirea cu tărie mijlocie $\left(\text{presiunea maximă de } 0{,}9 \frac{N}{m^2}\right)$, la frecvența de 400 Hz ? Presiunea este normală, temperatura 20°C.

○ 36.3. O undă sonoră se propagă în aer la presiunea normală și la temperatura de 27°C. Presiunea maximă este $900 \frac{N}{m^2}$. Să se afle temperatura în punctele de presiune maximă.

○ 36.4. Uneori se aude vocea la distanțe mari dar nu se disting cuvintele. Cum se explică acest fapt ?

○ 36.5. Nivelele senzației sonore a două sunete diferă printr-un decibel. Care este : a) raportul intensităților ?, b) raportul amplitudinilor presiunii ?

○ 36.6. La amplitudinea presiunii de $0{,}1 \frac{N}{m^2}$ nivelul senzației sonore este 60 dB. Care este amplitudinea presiunii unui sunet de aceeași frecvență pentru pragul senzației sonore ?

△ 36.7. Un sunet se propagă printr-un tub cu lungimea de 50 m. Coeficientul mediu de absorbție este 10^{-4} cm $^{-1}$. Care este nivelul senzației sonore la extremitatea tubului dacă la capătul celălalt nivelul este 60 dB ?

△ 36.8. La distanța de 10 m de o sursă sonoră de dimensiuni mici nivelul senzației sonore este de 20 dbel. Neglijînd amortizarea, să se calculeze : a) nivelul senzației sonore la distanța de 5 m ; b) la ce distanță nu se mai aude sunetul ?

△ 36.9. Un observator aflat la 10 m de un diapazon încetează să-l audă cu 20 s mai devreme decît alt observator aflat la 1 m de diapazon. Să se afle coeficientul de amortizare a oscilațiilor diapazonului.

△ 36.10. În figura 36.10 se dă curba de audibilitate pentru urechea omenească $\left(\text{amplitudinea presiunii se dă în } \frac{N}{m^2}\right)$. După această curbă să se găsească : a) intensitatea sunetului la pragul de audibilitate și la limita senzației dureroase pentru frecvențele de 256 Hz și 2 048 Hz ; b) nivelul senzației sonore la amplitudinea presiunii de $0{,}1 \frac{N}{m^2}$ pentru frecvențele de 32 Hz și 2 048 Hz ; c) nivelul senzației sonore pentru puterea sursei de 10^{-5} W (vorbirea), la frecvența de 256 Hz, la distanța de 5 m ; d) puterea sursei pentru nivelul

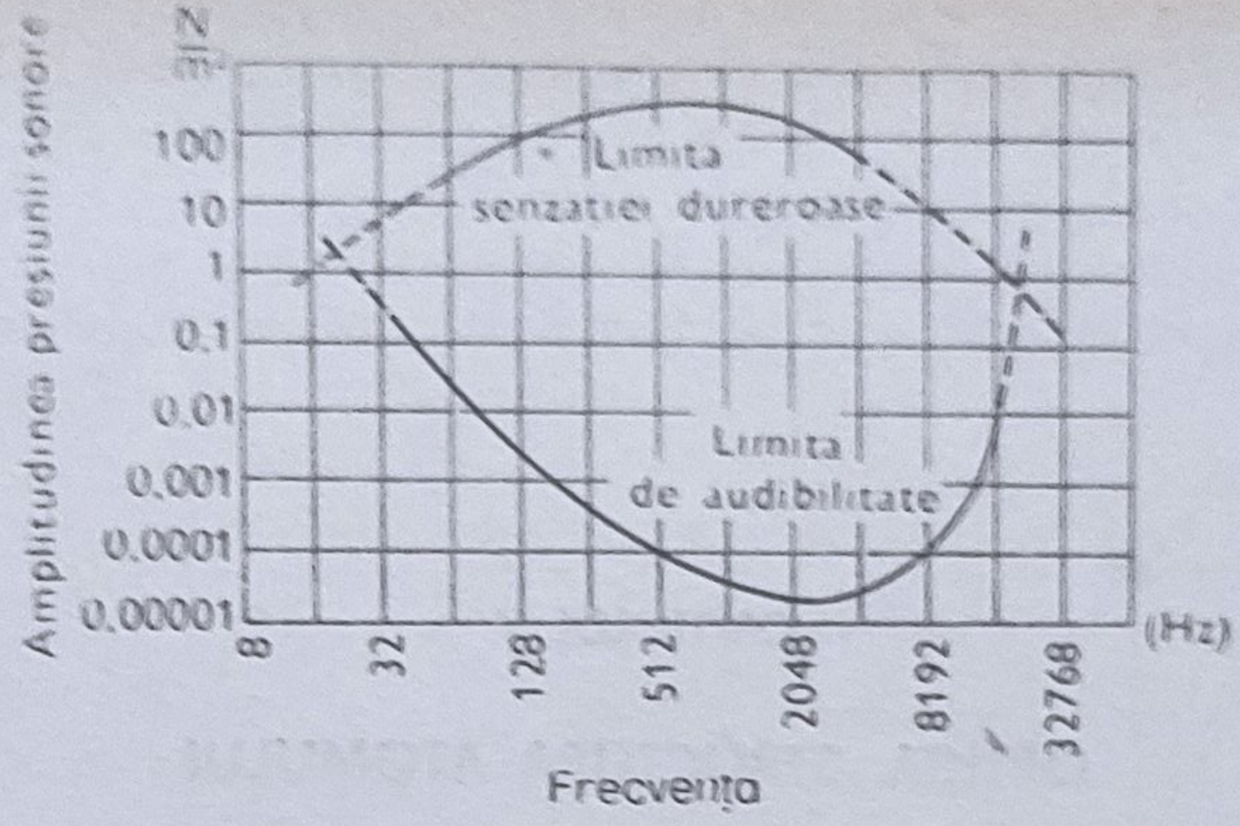


Fig. 36.10.

senzației sonore de 50 dbel la distanța de 10 m (frecvența 1 024 Hz). Indicație: Se vor folosi următoarele valori aproximative: $\lg 1{,}6 = 0{,}2$; $\lg 2 = 0{,}3$; $\lg 3 = 0{,}5$; $\lg 4 = 0{,}6$; $\lg 5 = 0{,}7$; $\lg 6 = 0{,}8$; $\lg 8 = 0{,}9$.

△ 36.11. Corzile instrumentelor muzicale corespunzătoare tonurilor joase se fac din oțel de același diametru ca și cele pentru tonuri medii și înalte. Cele pentru tonuri joase, spre a avea o masă mai mare se înfășoară cu o spirală de sîrmă de cupru care nu merge pînă la capetele corzii. a) De ce nu se poate folosi pentru tonuri joase o sîrmă de oțel groasă, fără spirală ? b) Ce influență are prezența spiralei asupra amortizării sunetului fundamental și a armonicelor ?

○ 36.12. Frecvența sunetului fundamental al sirenei unei locomotive este de 650 Hz. Care este frecvența sunetului înregistrat de un observator de care se apropie locomotiva cu viteza de $54 \frac{km}{h}$?

Temperatura aerului este de 16°C.

36.13. a) Frecvența sunetului recepționat de un observator în cazul cînd se apropie un automobil care claxonează este de $\frac{9}{8}$ ori mai mare decît atunci cînd automobilul se depărtează. Să se afle viteza automobilului dacă viteza sunetului este $340 \frac{m}{s}$. b) Aceeași întrebare dacă automobilul care claxonează se află în repaus iar observatorul trece pe lîngă el în alt automobil.

36.14. O locomotivă care are viteza de $72 \frac{km}{s}$ produce un șuierat timp de 2 s. Care este durata sunetului recepționat de un observator: a) dacă locomotiva se apropie?, b) dacă se depărtează ? Temperatura aerului este de — 17°C.

CAPITOLUL V

OPTICA. STRUCTURA ATOMULUI

§ 37. Legile iluminării

1) Formula iluminării $E = \frac{I}{r^2} \cos i$.

2) Fluxul produs de o sursă avînd intensitatea medie I_{med}.

$\Phi = 4\pi I_{med}$.

3) Radian R și strălucirea B a unei surse de lumină $R = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$; $B = \frac{\Delta I}{\Delta S}$

($\Delta\Phi$ — fluxul total radiat de pe suprafața ΔS ; ΔI — intensitatea luminoasă a radiației suprafeței ΔS în direcție normală). Dacă radiația are loc după legea lui Lambert (intensitatea luminoasă este direct proporțională cu cosinusul unghiului între direcția de radiație și normală), atunci $R = \pi B$.

4) Fluxul luminos cu $\lambda = 551$ nm egal cu 1 lumen are puterea 0,0016 W.

○ 37.1. În figura 37.1 se dă curba sensibilității spectrale a ochiului normal. Care este puterea fluxului luminos de 1 lumen dacă lumina este monocromatică și λ este : a) 610 nm ; b) 520 nm ?

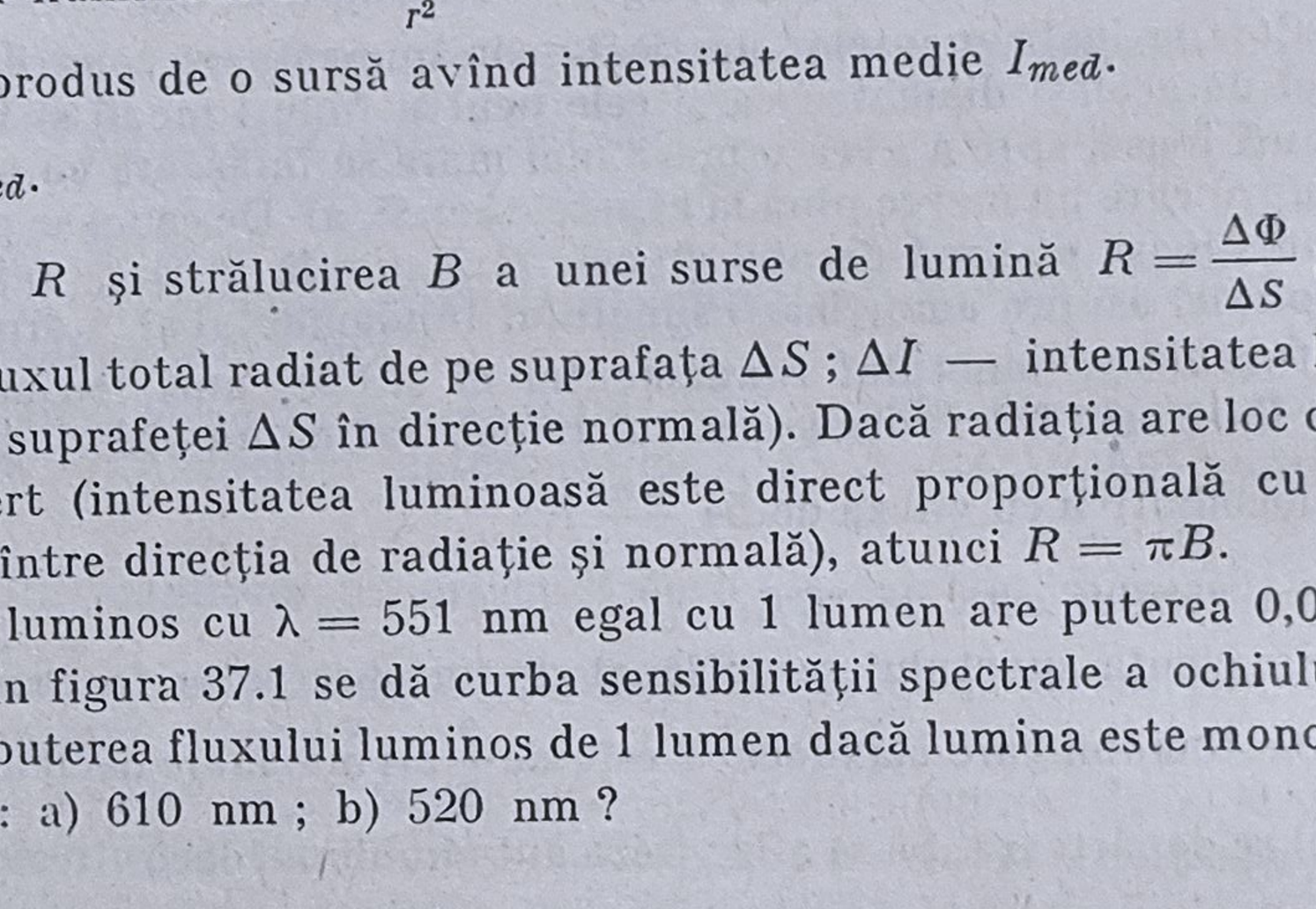


Fig. 37.1.

○ 37.2. Să se afle iluminarea la distanța de 4 m de o sursă de lumină dacă $I = 180$ cd și dacă $i = 37°$.

△ 37.3. Deasupra unei semisfere se află o sursă punctiformă de lumină ($I = 50$ cd) la o înălțime egală cu diametrul semisferei. Să se afle iluminarea în punctul de pe semisferă în care razele cad sub $i = 35°$. Raza semisferei $R = 1$ m (figura 37.3).

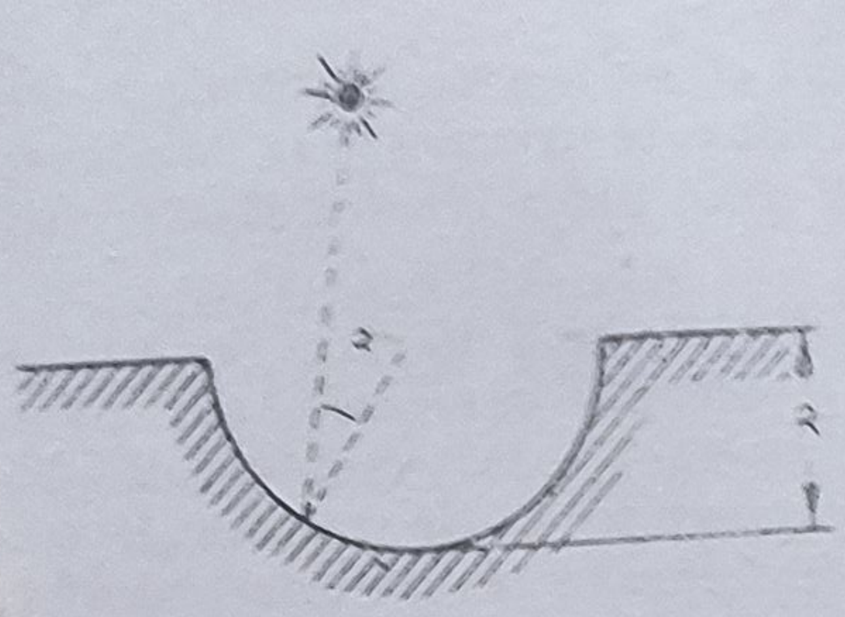


Fig. 37.3.

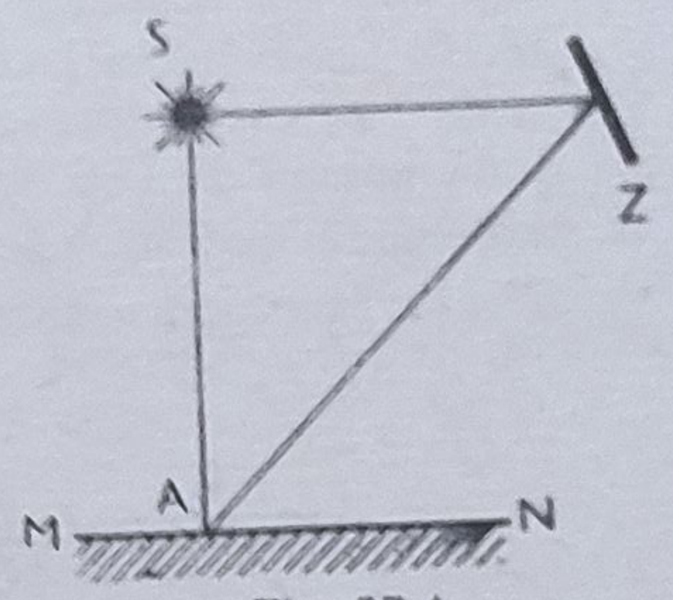


Fig. 37.4.

△ 37.4. O sursă punctiformă S luminează suprafața MN (vezi figura 37.4). Cum se modifică iluminarea în punctul A în care razele cad normal, dacă lateral se află o oglindă plană Z la aceeași înălțime ca și sursa ($SZ = SA$). Coeficientul de reflexie este egal cu 1.

△ 37.5. Un proiector se află la 15 m deasupra unei suprafețe. Într-un punct oarecare iluminarea unei suprafețe orizontale este 10 lx, iar iluminarea maximă a unei suprafețe verticale este 20 lx. Să se afle intensitatea luminoasă în direcția acelui punct.

△ 37.6. Deasupra unei suprafețe orizontale MN se află două surse de lumină la înălțimea de 2 m și la distanța de 1 m una de cealaltă. Fiecare sursă dă un flux luminos de 300 lm. Să se afle iluminarea suprafeței MN: a) în punctele aflate dedesubtul surselor; b) în punctul de pe suprafață egal depărtat de pe cele două surse.

△ 37.7. În figura 37.7 se dă curba de distribuție a intensității luminoase pentru o lampă „convențională“ care dă un flux de 1 000 lm destinată iluminării străzilor și atelierelor mari, prevăzută cu abajur. În abajur se află o lampă care dă un flux de 3 050 lm (200 W). Abajurul se află la înălțimea de 5 m deasupra pământului. Să se determine iluminarea: a) în punctul A aflat sub abajur; b) în punctul B aflat la 7 m de A; c) aceleași întrebări pentru becul fără abajur.

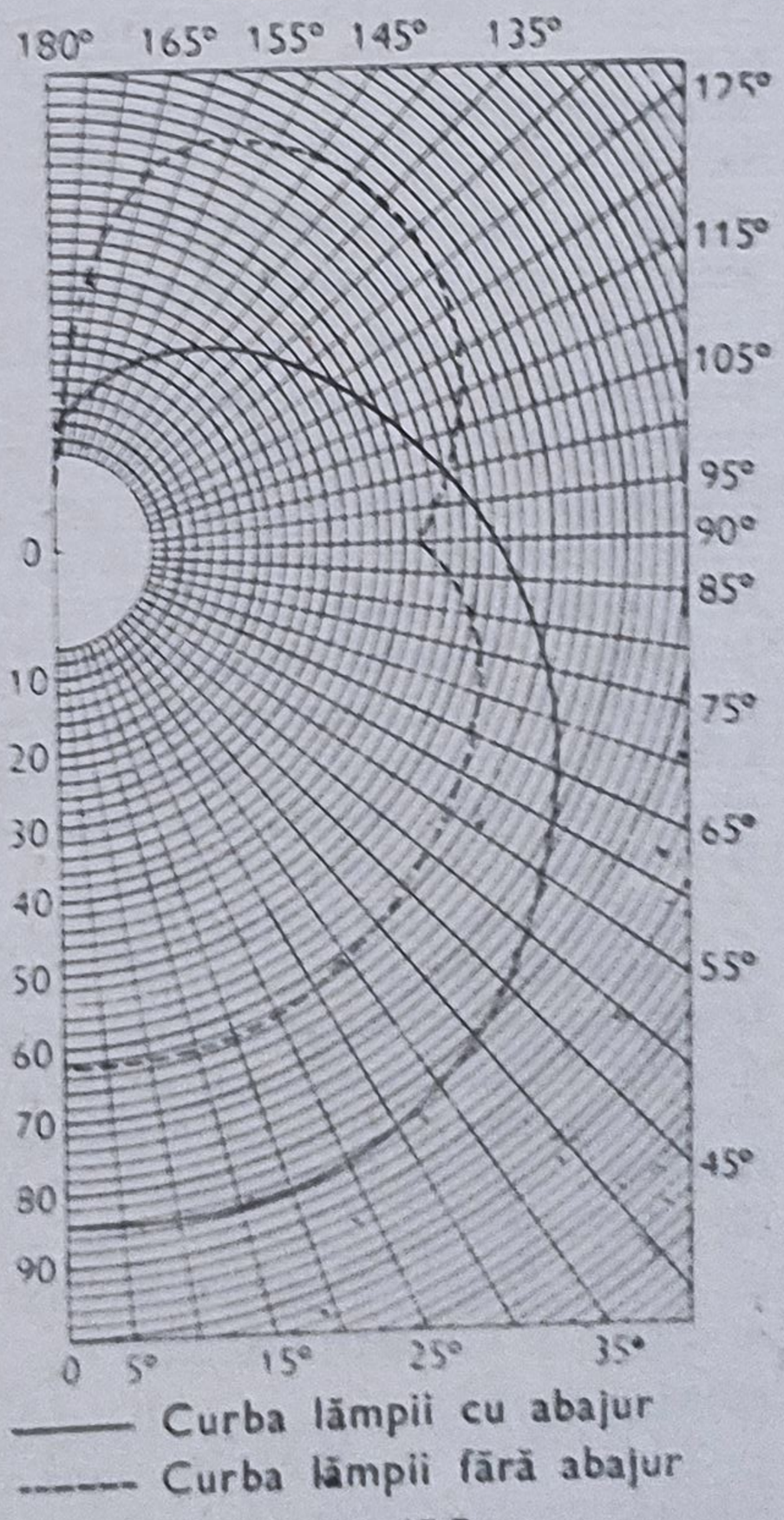


Fig. 37.7.

△ 37.8. În vîrfurile unui triunghi echilateral se află trei surse de lumină identice. Să se arate că o mică suprafață, așezată în centru perpendicular pe planul triunghiului, este iluminată egal pe ambele fețe.

△ 37.9. Expunerea unei fotografii la un bec cu $I = 40$ cd aflat la distanța de 1 m durează 2 s. Care trebuie să fie durata expunerii la un bec de 30 cd aflat la 1,5 m ? Se presupune că în ambele cazuri fotografia trebuie să primească aceeași energie luminoasă.

△ 37.10. La fotografierea unui obiect iluminat cu un bec de 100 W de la distanța de 1 m este necesară o expunere de 8 s. Cît este expunerea la iluminarea cu două becuri de 100 W aflate la 3 m și 4 m dacă placa fotosensibilă trebuie să primească aceeași energie?

△ 37.11. În figură este reprezentată orbita Pămîntului T în jurul Soarelui S. Se duce o dreaptă oarecare ASB. Să se arate că energia luminoasă totală primită de Pămînt pe porțiunea $Am\ B$ este egală cu cea primită pe porțiunea $Bn\ A$

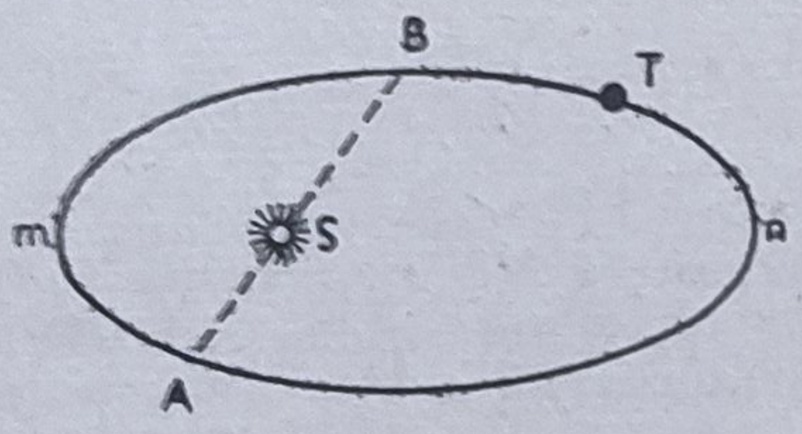


Fig. 37.11.

○ 37.12. Un bec de 40 W dă un flux de 380 lm. 40% din acest flux cade pe o suprafață de 5 m². Care este iluminarea medie a suprafeței ?

△ 37.13. Fluxul luminos total emis de un fir rectiliniu incandescent cu lungimea $l = 60$ cm este 132 lm. Să se afle iluminarea maximă pe o suprafață plană paralelă cu firul aflată la $a = 5$ cm de el.

△ 37.14. O sursă de lumină are formă cubică cu latura de 10 cm. Intensitatea luminoasă maximă este 90 cd. Să se calculeze strălucirea sursei.

△ 37.15. O sursă de lumină aflată într-un cilindru cu baza transparentă și suprafața laterală opacă împrăștie lumină după legea lui Lambert. Sursa este situată deasupra centrului unei mese circulare cu raza $b = 70$ cm (vezi figura 37.15). La marginea mesei se află o carte A. Strălucirea sursei este $B = 8\,000$ nt, suprafața iluminată este $S = 100$ cm². a) La ce înălțime h trebuie așezată sursa de lumină pentru ca iluminarea cărții să fie maximă? Cît este iluminarea în acest caz ? b) Care este iluminarea maximă a unui perete aflat la $l = 1{,}5$ m de centrul mesei ?

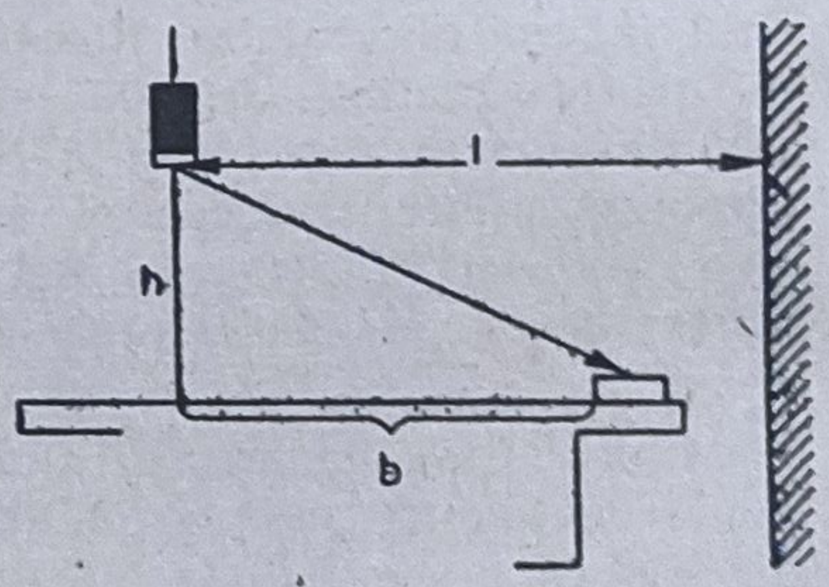


Fig. 37.15.

○ 37.16. Care este radianța filamentului unui bec electric dacă fluxul radiat este 400 lm, lungimea firului 60 cm și diametrul 0,04 mm ?

○ 37.17. Pe un ecran cu suprafața de 3 m² care difuzează lumina cu coeficientul de reflexie 0,8 cade un flux luminos de 150 lm. Care sînt : a) radianța ?, b) strălucirea ecranului ?

△ 37.18. O lampă cu luminiscență de 15 W are formă cilindrică cu lungimea de 42 cm și diametrul de 2,24 cm. Strălucirea este $5{,}10^3$ nt. Să se afle randamentul lămpii.

△ 37.19. Prin deschizătura unui oblon pătrunde un flux de raze solare care formează un spot luminos pe o foaie de hîrtie albă aflată pe podea. Suprafața

spotului este 80 cm^2, iar iluminarea 10 000 lx. Coeficientul de reflexie al hîrtiei este 0,8. Care este iluminarea: a) tavanului, deasupra foii de hîrtie, dacă înălțimea camerei este de 4 m?, b) unui perete la înălțimea de 2 m de podea? Peretele se află la 3 m de foaia de hîrtie și este perpendicular pe planul de incidență al razelor.

§ 38. Oglinzi, prisme și lentile

I. Formula oglinzii sferice $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f} = C$.

II. Legea refracției $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

III. Formula de calcul al unghiului deviației minime într-o prismă $n_1 \sin \frac{\delta_m + A}{2} = n_2 \sin \frac{A}{2}$ (A — unghiul prismei).

IV. Deviația într-o prismă cu A mic și unghi de incidență mic $\delta = A\left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)$.

V. La trecerea unui fascicol paraxial printr-un dioptru sferic $n_1\left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{R}\right) = n_2\left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{R}\right)$ (a_1 și a_2 — distanțele punctelor conjugate la vîrful dioptrului). Aici și în cele ce urmează segmentele considerate în raport cu vîrful dioptrului se consideră pozitive în sensul propagării razelor de lumină și negative în caz contrar. Din relația de mai sus rezultă: $-\frac{n_1}{a_1} + \frac{n_2}{a_2} = C$ unde $C = \frac{n_2 - n_1}{R}$ este convergența dioptrului.

VI. Formula lentilei $-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = C$ unde a_1 și a_2 sînt distanțele punctelor conjugate la planele principale ale lentilei. Planele principale H_1 și H_2 se află în raport cu vîrfurile fețelor la distanțele x_1 și x_2 (vezi figura 38.VI) $x_1 = -d\frac{n_1 C_2}{n_2 C}$; $x_2 = +\frac{d\, n_1 C_1}{n_2 C}$ (d — grosimea lentilei. C_1 și C_2 — convergențele fețelor, C — convergența lentilei egală cu $C = C_1 + C_2 - \frac{d}{n_2} C_1 C_2$).

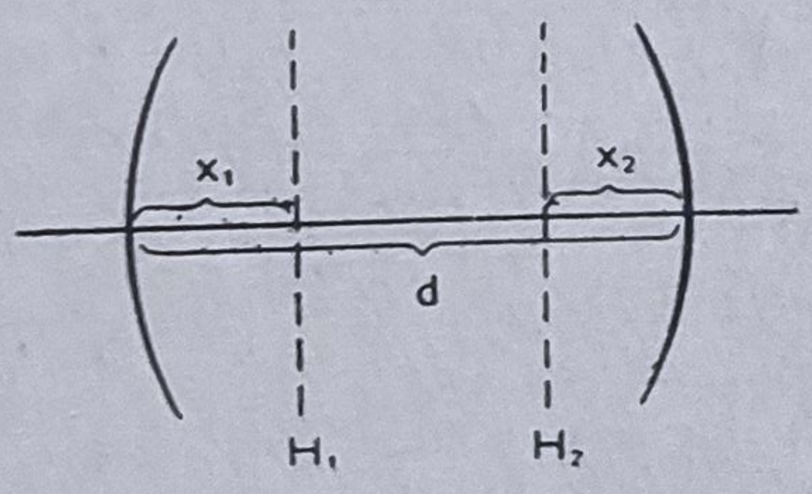


Fig. 38.VI.

VII. În cazul unei lentile subțiri: $C = C_1 + C_2 = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$.

VIII. Convergența unui sistem de două lentile centrate $C = C_1 + C_2 - \Delta C_1 C_2 = -\delta C_1 C_2$ (Δ — distanța de la al doilea plan principal al primei lentile la primul plan principal al celei de a doua; δ — intervalul optic al sistemului adică distanța dintre al doilea focar al primei lentile la primul focar al celei de a doua; la lentilele divergente primul focar se află în spatele lentilei, iar al doilea în fața ei).

IX. Intensitatea luminoasă a unui obiectiv $L = Cd$ (d— diametrul diafragmei).

X. Grosismentul $G = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha_0}$; ($\alpha$ — unghiul sub care se vede imaginea printr-un aparat optic, α_0 — unghiul sub care se vede obiectul cu ochiul liber. În cazul

lupei și microscopului prin α_0 se înțelege unghiul sub care se vede obiectul la distanța vederii optime $L_0 = 25$ cm.) Formulele de mai jos se referă la cazul cînd ochiul observatorului este acomodat la infinit: a) Lupa $G = CL_0$; b) Microscopul $G = -L_0C_1C_2\delta$; c) Lunetele Kepler și Galilei $G = \frac{C_2}{C_1}$.

△ 38.1. Un mic obiect se află între două oglinzi plane care formează unghiul $\alpha = 32°$ la distanța $r = 10$ cm de muchia oglinzilor, mai aproape de una din oglinzi. a) La ce distanță x se află primele imagini virtuale? b) Cum se deplasează mijlocul segmentului care unește imaginile obiectului dacă acesta este deplasat cu $l = 2$ cm așa încît să rămînă la aceeași distanță de muchia oglinzilor?

△ 38.2. Două oglinzi plane formează unghiul $\alpha = 20°$. O rază de lumină, perpendiculară pe muchia oglinzilor, cade pe una din oglinzi paralel cu planul median. Care este drumul razei? Care va fi intensitatea luminoasă la ieșirea din oglinzi dacă intensitatea inițială este de 10 cd și la fiecare reflexie se reduce la jumătate?

△ 38.3. Fie o rază de lumină care cade pe un sistem format din trei oglinzi plane perpendiculare între ele. Să se arate că raza emergentă este antiparalelă cu raza incidentă.

○ 38.4. Filamentul unui beculeț se află la distanța de 24 cm de vîrful unei oglinzi concave cu distanța focală de 20 cm. a) Unde trebuie așezat un ecran pe care să obținem imaginea clară a filamentului? b) Care este strălucirea imaginii dacă fluxul luminos al beculețului este de 10 lm, iar pe oglindă cade 0,2 din acest flux, coeficientul de reflexie al ecranului este 0,8, iar filamentul are lungimea de 2 cm și diametrul de 0,1 mm?

△ 38.5. O rază de lumină cade pe o oglindă sferică concavă de rază R, paralel cu axa optică, la distanța a de axă (vezi figura 38.5) și după reflexie intersectează axa optică în punctul B. Să se găsească relația între a și R pentru cazul cînd luînd $OB = \frac{R}{2}$ eroarea relativă este 1%.

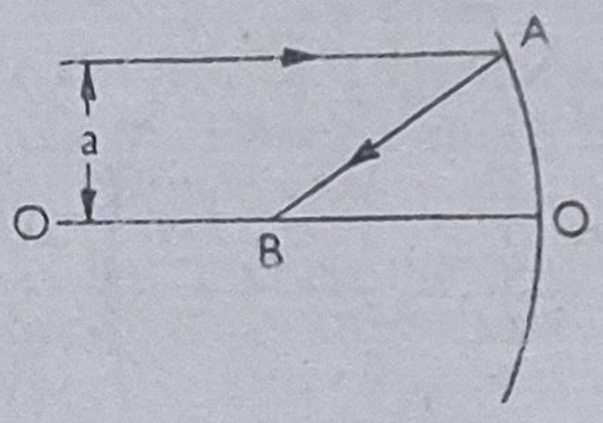


Fig. 38.5.

○ 38.6. Raza deschiderii unei oglinzi concave este de același ordin de mărime cu raza sferei. Imaginea obținută pe ecran cu o asemenea oglindă este reală și neclară. De ce cînd privim această imagine în oglindă ea se vede clară (chiar dacă este deformată)?

○ 38.7. Un observator privește printr-o lamă subțire de sticlă la imaginea sa într-o oglindă convexă. Deplasînd lama imaginile în lamă și în oglindă se suprapun și nu se deplasează la legănarea capului (nu există paralaxă). La ce distanță se află lama față de ochiul observatorului dacă $f = -10$ cm și ochiul se află la 40 cm de vîrful oglinzii?

○ 38.8. Să se găsească prin construcție pozițiile vîrfului oglinzii și centrului pentru cele două cazuri din figura 38.8 (MM' este axa optică).

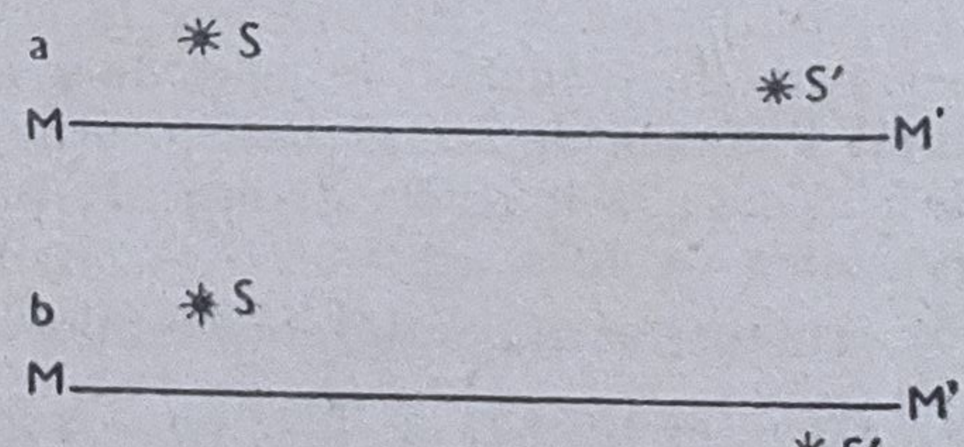


Fig. 38.8.

○ 38.9. Înălțimea soarelui deasupra orizontului este de 20°. O rază de lumină de la soare cade pe o oglindă plană și este reflectată pe suprafața

unui lac. Cum trebuie așezată o oglindă pentru ca raza reflectată să pătrundă în apă sub unghiul de 60° față de orizontală ?

○ 38.10. Care este unghiul limită la trecerea unei raze de lumină din sticlă în apă ?

△ 38.11. Razele de lumină care pleacă dintr-un punct al unui obiect aflat în apă trec în aer. a) Să se arate că prelungirile razelor refractate nu se intersectează într-un singur punct. b) Să se demonstreze același lucru pentru razele care pornesc dintr-un punct și trec printr-o lamă cu fețe plane și paralele. c) De ce, totuși, vedem clar fundul unui bazin sau obiectele privite printr-o lamă cu fețe plane paralele ?

△ 38.12. Un observator privește un obiect aflat pe fundul unui bazin. El vede imaginea la adîncimea $h = 1$ m, la distanța $l = 5$ m de ochiul său, în linie dreaptă. Ochiul se află la înălțimea $H = 1{,}5$ m deasupra apei. La ce adîncime se află obiectul ?

○ 38.13. Un observator privește imaginea sa într-o oglindă aflată pe fundul unui vas plin cu apă. La ce distanță este acomodat ochiul observatorului dacă el se află la înălțimea de 10 cm deasupra nivelului apei, iar oglinda la 8 cm sub nivelul apei ?

○ 38.14. Două raze paralele *1* și *2* (vezi figura 38.14) ies din apă prima direct, cealaltă printr-o lamă orizontală cu fețe plane paralele. a) Razele emergente vor fi paralele ? b) Raza *2* va ieși din apă dacă raza *1* se reflectă total ?

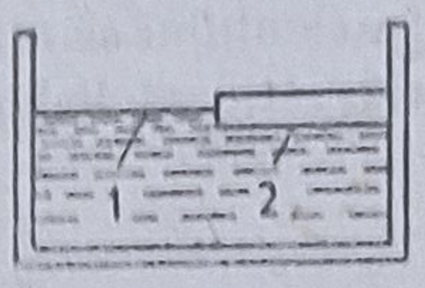


Fig. 38.14.

△ 38.15. O rază cade pe o lamă de sticlă cu fețe plane cu grosimea de 3 cm sub unghiul de 70°. Care va fi mersul razei în lamă ?

○ 38.16. O rază de lumină traversează mai multe lame transparente cu fețe plane paralele. La fiecare refracție se pierde 0,1 din intensitatea luminii și fiecare lamă absoarbe 0,2 din intensitatea luminii. Dacă raza incidentă are 10 cd ce intensitate are raza emergentă după traversarea a 5 lame ?

○ 38.17. La observarea obiectelor printr-o prismă cea mai mare claritate se obține în cazul deviației minime. De ce ?

○ 38.18. Privind printr-o prismă, liniile drepte paralele cu muchia prismei se văd curbe. Să se explice fenomenul.

△ 38.19. a) Cît este unghiul de refracție al unei prisme dacă el este egal cu unghiul de deviație minimă ? b) Cît trebuie să fie indicele de refracție al unei substanțe din care se confecționează o prismă pentru a se putea îndeplini condiția a) ?

△ 38.20. O prismă goală, din sticlă, cu unghiurile egale, se află în apă. Să se afle unghiul deviației maxime. Să se explice grafic rezolvarea.

△ 38.21. Două prisme identice cu unghiul de refracție A au unghiul de deviație minimă δ_0. Cum trebuie așezate prismele pentru ca o rază care trece prin ele să fie deviată în fiecare cu unghiul δ_0 ?

○ 38.22. O prismă cu unghiul de refracție de 50° are unghiul de deviație minimă de 35°. Cît devine unghiul de deviație minimă dacă prisma se introduce în apă ?

△ 38.23. Pentru obținerea unei imagini drepte la proiecția pe un ecran a unor obiecte care nu pot fi așezate răsturnat (de exemplu un montaj experimental) se folosește prisma optică. Desenați mersul razelor în cazul din

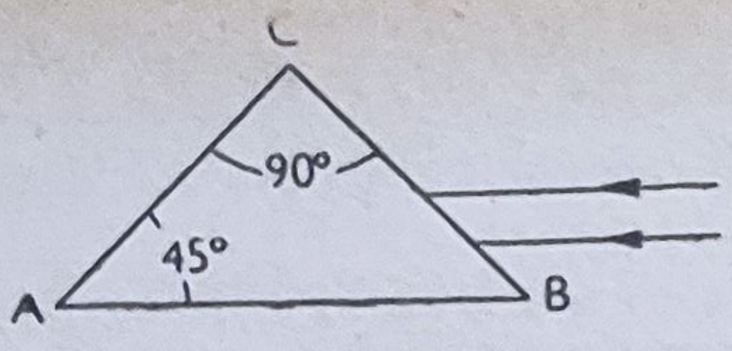


Fig. 38.23.

figura 38.23. Se modifică distanța dintre raze? Sînt egale drumurile parcurse în prismă de cele două raze?

△ 38.24. Care este condiția ca o rază de lumină să traverseze fețele prismei? Planul de incidență este perpendicular pe muchia prismei. Se vor considera cazurile: a) $A \geqslant 2l$ (l este unghiul limită pentru sticlă); b) $A = l$; c) $A < l$. Explicați răspunsurile prin desene.

△ 38.25. Haloul (cercuri luminoase în jurul Soarelui sau Lunii), observat în zilele geroase, apare datorită refracției luminii în cristale de gheață de forma unor prisme hexagonale aflate în aer. Razele unghiulare ale cercurilor de 22° și 46° corespund unghiurilor de deviație minimă a razelor care vin de la soare. Care fețe ale prismelor de gheață formează unghiurile corespunzătoare acestor cercuri?

△ 38.26. Între ce limite este cuprins unghiul de deviație al unei prisme de sticlă cu $A = 60°$?

○ 38.27. Un fascicul luminos îngust de raze paralele traversează un balon de sticlă sferic cu pereții subțiri plin cu un lichid. La ieșirea din balon diametru fasciculului se micșorează de două ori (vezi figura 38.27). Să se afle indicele de refracție al lichidului.

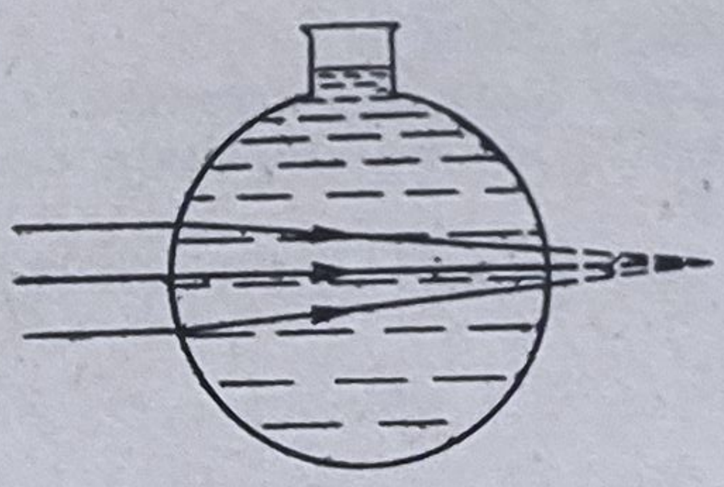


Fig. 38.27.

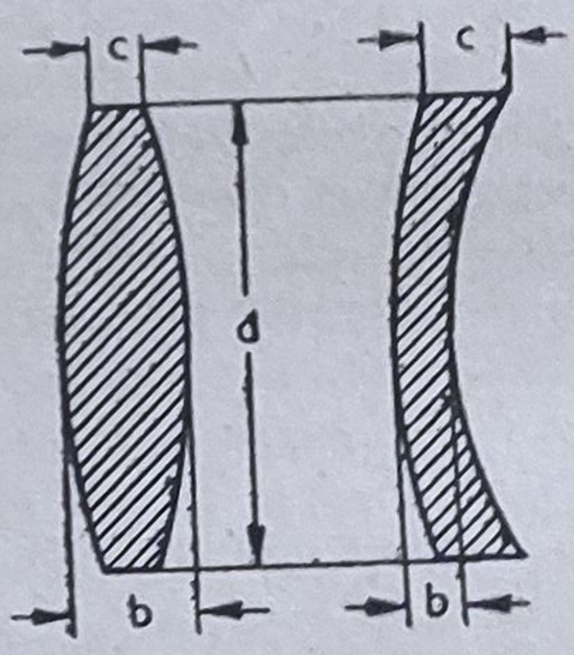


Fig. 38.29.

○ 38.28. Care este distanța focală a unei lentile biconvexe subțiri, din sticlă, fețele avînd razele de curbură egale cu 13 cm?

△ 38.29. Două lentile au secțiunile din figura 38.29. Să se calculeze convergențele lentilelor dacă: $d_1 = 40$ mm, $b_1 = 5$ mm, $c_1 = 3$ mm și $d_2 = 40$ mm, $b_2 = 1{,}5$ mm, $c_2 = 3$ mm.

○ 38.30. Convergența unei lentile subțiri de sticlă este 5,5 D. Care este convergența aceleiași lentile scufundate în apă?

○ 38.31. O lentilă subțire are $C_1 = 5$ D. Aceeași lentilă scufundată într-un lichid are $C_2 = -1$ D. Care este indicele de refracție al lichidului?

△ 38.32. O lentilă plan concavă este introdusă în apă în poziție orizontală, iar spațiul dedesubtul fetei concave este plin cu aer. Raza fetei concave este de 15 cm. Care este distanța focală a sistemului? (Vezi figura 38.32.)

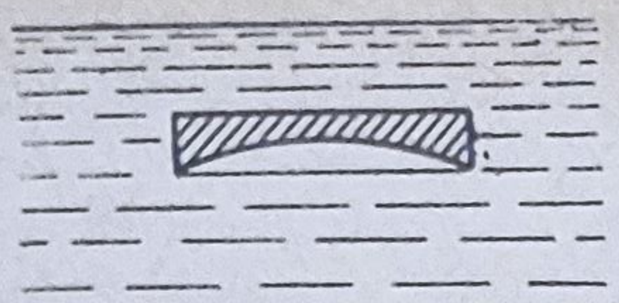


Fig. 38.32.

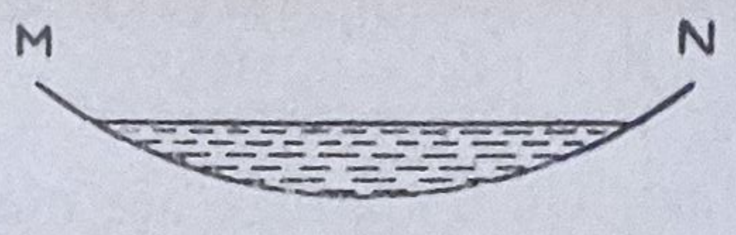


Fig. 38.33.

△ 38.33. O oglindă concavă aşezată orizontal este umplută cu apă (vezi figura 38.33). Raza oglinzii este de 60 cm. Care este distanţa focală a sistemului ? Adîncimea maximă a apei se consideră mică în raport cu raza de curbură.
○ 38.34. Cunoscînd poziţia unei lentile convergente şi focarele ei (vezi figura 38.34) precum şi mersul unei raze incidente, să se construiască raza emergentă corespunzătoare.

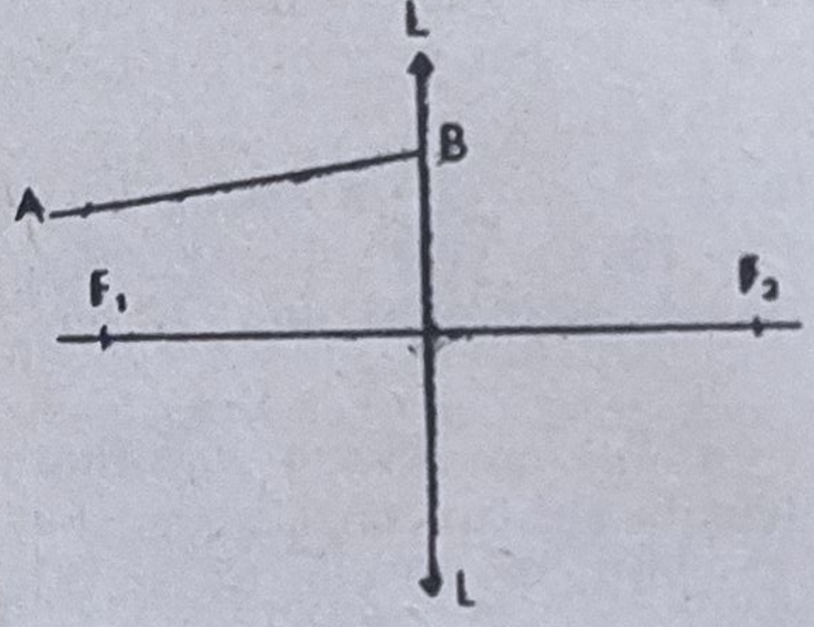


Fig. 38.34.

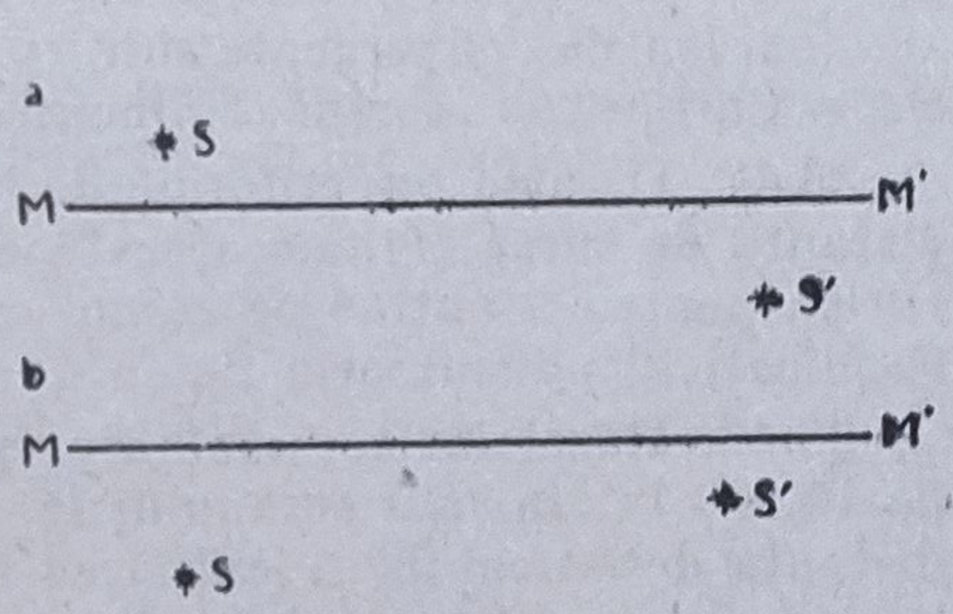


Fig. 38.35.

○ 38.35. În figurile 38.35 a) şi b) se reprezintă axele optice şi poziţiile punctelor sursă şi punctelor imagine corespunzătoare în lentile subţiri. Să se găsească poziţiile centrelor optice şi focarelor în cele două cazuri.
○ 38.36. În figură se dă poziţia unei lentile subţiri şi mersul unei raze de lumină ABC. Să se construiască raza emergentă corespunzătoare unei alte raze incidente date DE.

Fig. 38.36.

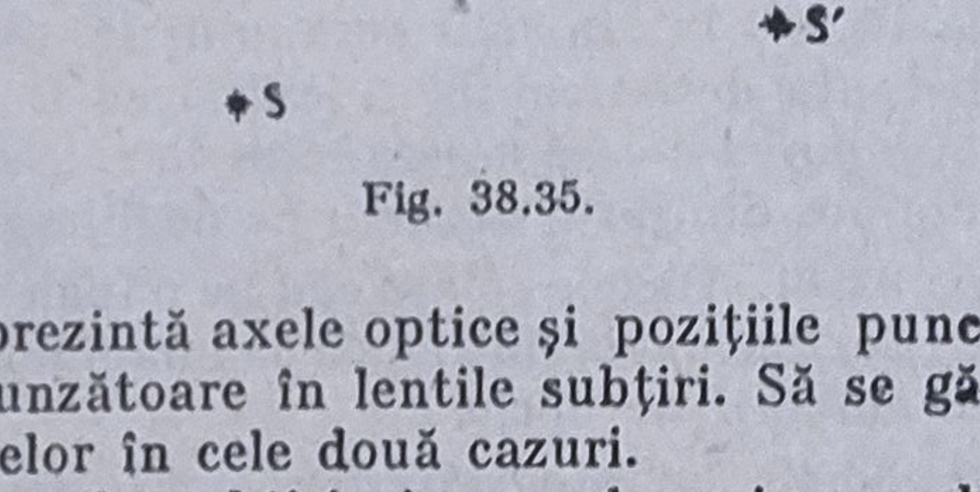


Fig. 38.37.

□ 38.37. Pentru a găsi imaginea unui punct S_1 aflat pe axa optică principală a unei lentile convergente subţiri se pot face următoarele construcţii : Din centrul optic O al lentilei se ridică o perpendiculară pe axă şi se ia un segment $OA = f$ (vezi figura 38.37). Din O se duce o dreaptă OK sub unghiul de 45°

față de axă, care se intersectează cu S_1A în B. Din B se coboară perpendiculara BS_2 pe axă. S_2 este punctul imagine căutat. Să se justifice construcția : a) pentru punctele aflate dincolo de focar ; b) pentru punctele aflate între focar și lentilă.

○ 38.38. Un diapozitiv are dimensiunile 8×8 cm. Să se calculeze convergența unei lentile convergente subțiri care poate servi ca obiectiv într-un diascop dacă imaginea pe ecran trebuie să aibă dimensiunile $1{,}2 \times 1{,}2$ m. Distanța obiectiv-ecran este de 4 m.

○ 38.39. Pe un ecran aflat la 4 m de un obiectiv (lentilă subțire cu $C = 5\ D$) se obține o imagine clară a unui diapozitiv. Ecranul este depărtat cu 20 cm. Cu cît trebuie deplasat diapozitivul pentru a restabili claritatea imaginii ?

△ 38.40. Un obiect se află la 90 cm de un ecran. Pentru două poziții ale unei lentile convergente subțiri se obțin imagini clare pe ecran. Să se găsească distanța focală a lentilei dacă o imagine este de 4 ori mai mare decît cealaltă.

△ 38.41. Un ecran se află la $d = 100$ cm de o lumînare. Pentru două poziții ale unei lentile convergente subțiri, depărtate la $b = 20$ cm se obțin imagini clare. Care este raportul strălucirilor celor două imagini ?

○ 38.42. O sursă punctiformă de lumină se află la 95 cm de un ecran. La ce distanță de sursă trebuie așezată o lentilă cu $f = 16$ cm și cu diametrul de 10 cm pentru a obține pe ecran un cerc luminat cu diametrul de 2,5 cm ? Explicați răspunsul prin desen.

△ 38.43. Razele solare căzînd perpendicular pe un ecran dau o iluminare de 10 000 lx. În fața ecranului se așază a) o lentilă subțire cu $C = 5\ D$ la distanța de 60 cm ;b) o lentilă cu $C = 2\ D$ la distanța de 20 cm. Să se afle iluminarea medie a ecranului în cele două cazuri în umbra lentilei și în inelul luminos din jurul umbrei. Se neglijează pierderile de lumină în lentilă.

△ 38.44. Razele solare cad pe o foaie de hîrtie. Cum se va modifica iluminarea hîrtiei dacă vom obține pe ea imaginea soarelui cu o lentilă de 4 D cu diametrul deschiderii de 6 cm ?

△ 38.45. Se fotografiază un om în halat alb, a cărui iluminare este de 100 lx. Coeficientul de reflexie al halatului este 0,8. Intensitatea luminoasă a obiectivului aparatului este $\frac{1}{4{,}5}$. Pierderile de lumină în obiectiv reprezintă 10%. Care este iluminarea peliculei fotosensibile ?

○ 38.46. În ce caz convergența unui sistem de două lentile centrate este pozitivă, negativă, nulă (sistem telescopic) ? Se vor considera cazurile : a) ambele lentile sînt convergente ?, b) prima lentilă convergentă a doua divergentă ; c) prima lentilă divergentă a doua convergentă ; d) ambele lentile sînt divergente. Să se figureze mersul razelor.

○ 38.47. Cum trebuie așezate două lentile subțiri cu convergențele de 5 D fiecare, pentru a obține un sistem cu convergența de a) 8 D?, b) 5 D?

△ 38.48. Două lentile subțiri care formează un sistem telescopic cu mărirea -5 se află la distanța de 12 cm. Care va fi convergența sistemului dacă lentilele vor fi acolate ?

△ 38.49. Două lentile de sticlă aflate în aer la o anumită distanță formează un sistem telescopic. Cum trebuie modificată distanța dintre lentile pentru ca ele să formeze un sistem telescopic în apă ?

△ 38.50. Un fascicul luminos trece printr-o lentilă convergentă subțire ($C = 5\ D$), se reflectă pe o oglindă plană și traversează din nou lentila. Oglinda

se află la 6 cm de al doilea plan principal al lentilei. Care este convergența sistemului ?

○ 38.51. În figura 38.51 se dau : axa optică, primul focar al unei lentile convergente groase și două puncte conjugate S, S'. Să se găsească prin construcție pozițiile planelor principale și al doilea focar al lentilei.

Fig. 38.51.

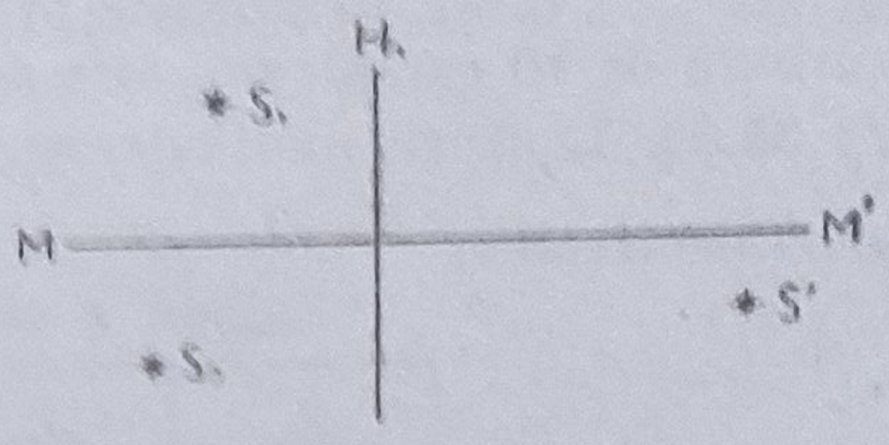


Fig. 38.52.

○ 38.52. În figura 38.52 H_1 este primul plan principal, S_1, S' două puncte conjugate. Să se găsească prin construcție punctul conjugat lui S_2.

○ 38.53. În figura 38.53 se dă poziția primului plan principal H_1 al unei lentile groase și mersul unei raze de lumină. Să se găsească prin construcție focarele lentilei.

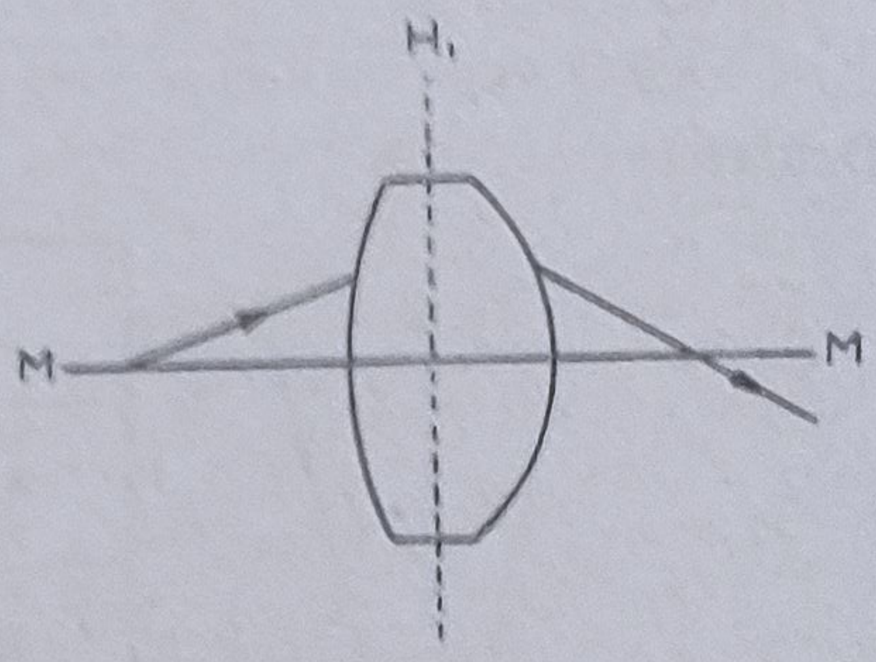


Fig. 38.53.

△ 38.54. Să se găsească pozițiile planelor principale și focale ale lentilelor de sticlă în aer având formele următoare: a) prima suprafață convexă ($R_1 = 13$ cm), a doua plană, grosimea de 3,5 cm ; b) ambele suprafețe convexe cu $R = 13$ cm, grosimea de 3,5 cm ; c) prima suprafață convexă ($R_1 = 6,5$ cm), a doua concavă ($R_2 = 13$ cm), grosimea de 3,5 cm ; d) prima suprafață concavă ($R_1 = 6,5$ cm), a doua convexă ($R_2 = 13$ cm), grosimea de 3,5 cm ; e) lentila este sferă cu raza de 3,5 cm.

△ 38.55. Ce grosime are o lentilă biconvexă de sticlă ($R_1 = R_2 = 5$ cm) a cărei convergență este în aer nulă ?

△ 38.56. Fețele plane a două lentile, una plan convexă, cealaltă plan concavă, sînt lipite cu o peliculă subțire transparentă. Indicii de refracție ai lentilelor sînt respectiv 1,6 și 1,5. Razele fețelor sferice și grosimile sînt egale avînd respectiv 10 cm și 2,4 cm. Să se afle convergența acestui sistem în aer.

△ 38.57. Cu ajutorul lentilei de la problema 38.54 c) se obține imaginea flăcării unei luminări pe un ecran. Cu cît trebuie deplasată lentila spre a obține imaginea clară dacă ordinea fețelor se inversează ?

△ 38.58. Două lentile plan convexe, identice, sînt acolate. Razele fețelor sînt de 5 cm, iar grosimile de 2,5 cm. Să se calculeze convergența sistemului în cazurile : a) fețele plane sînt alăturate ; b) fețele convexe sînt alăturate ; c) fața convexă a primei lentile este alăturată feței plane a celei de a doua lentile.

△ 38. 59. a) Două sfere de sticlă au diametrele de 10 cm și 1 cm. Cum trebuie așezate aceste sfere în aer, spre a obține un sistem telescopic ? b) Care este mărirea acestui sistem ?

○ 38.60. Să se traseze mersul razelor de la un punct oarecare al unui obiect pînă la imaginea lui pe retină, dacă ochiul este acomodat la infinit și se folosește : a) o lupă ; b) un microscop ; c) o lunetă Kepler ; d) o lunetă Galilei.

△ 38.61. a) Ce distanță focală are o lupă care mărește de 2,5 ori ? b) Ce mărire dă această lupă dacă observatorul își privește prin ea imaginea propriului ochi într-o oglindă plană ? Ochiul este acomodat la infinit.

△ 38.62. Un om își privește propriul ochi într-o oglindă concavă cu raza de curbură de 10 cm. Ochiul este acomodat la infinit. Care este mărirea ?

○ 38.63. Lentilele unui microscop au următoarele caracteristici :

a) Obiectivele :

Nr.	f(mm)	Apertura numerică
1	18	0,20
2	4,3	0,65

Ocularele :

	f(mm)
A	36
B	17

a) Folosind un tub lung de 16 cm și montînd lentilele 1, *A* microscopul mărește de 56 ori, iar dacă se montează lentilele 2, *B* microscopul mărește de 600 ori. Să se calculeze intervalele optice ale microscopului în cele două cazuri. De ce nu sînt egale ? b) Care vor fi măririle în cele două cazuri dacă lungimea tubului va fi de 18 cm ?

○ 38.64. Distanța focală a unuia din telescoapele de la Pulcovo este 14,1 m. Care este mărirea acestui telescop dacă se folosește un ocular cu $f = 2{,}5$ cm ?

○ 38.65. Fiecare lunetă a unui binoclu de teatru are un obiectiv convergent și un ocular divergent (lentile subțiri). Distanța dintre lentile, ochiul fiind acomodat la infinit, este de 5 cm. Diametrul obiectivului este de 3,6 cm, iar al ocularului de 1,2 cm. Mărirea binoclului este 2,5. a) Ce s-ar observa dacă se inversează obiectivul cu ocularul ? b) Care sînt convergențele obiectivului și ocularului ? c) Ce limitează mai mult fluxul razelor prin binoclu : deschiderea obiectivului sau a ocularului ?

○ 38.66. Pe un ecran se obține un spectru continuu (cu ajutorul unei fante luminată de un arc electric, cu un obiectiv și o prismă). Ce se întîmplă dacă fanta se lărgește treptat ?

○ 38.67. Ce vede un observator care privește printr-o prismă o figură neagră desenată pe hîrtie albă ? Explicați prin desen.

○ 38.68. Cu ajutorul unui obiectiv și al unei prisme cu unghiul de refracție de 60° se obține pe un ecran imaginea colorată a unei fante (spectru). Care este lărgimea spectrului, dacă razele cad pe prismă, sub un unghi de 49°, ecranul se află la 3 m de obiectiv, iar indicii de refracție ai prismei pentru razele roșii și violete sînt respectiv 1,505 și 1,525 ? Lărgimea fantei se neglijează.
○ 38.69. Indicii de refracție ai sticlei, pentru razele extreme roșii și violete, sînt respectiv, 1,510 și 1,531. Să se afle distanța dintre focarele unei lentile subțiri, cu razele fețelor de 15 cm, pentru razele roșii și violete.

§ 39. Natura ondulatorie a luminii

I. Interfranja : $x = \dfrac{\lambda}{2n_1 \sin u_1} = \dfrac{\lambda}{n_1} \cdot \dfrac{l}{d \cos u_1}$ în care l este distanța de la ecran la sursele coerente aflate la distanța d (vezi figura 39.I), $\dfrac{\lambda}{n_1}$ este lungimea de undă a luminii în mediul în care se găsește ecranul, u_1 semiunghiul între direcțiile razelor care formează într-un punct dat de pe ecran figura de interferență, n_1 indicele de refracție al mediului în care se află ecranul. Dacă $l \gg d$, $\cos u_1 \to 1$ și formula devine $x = \dfrac{\lambda l}{n_1 d}$.

II. O fantă dă o figură de interferență clară dacă franjele formate de razele extreme ale fantei sînt deplasate una față de alta cu cel mult 0,5 din interfranjă. De aceea, pentru a se putea observa figura de interferență este necesar ca lărgimea fantei să satisfacă inegalitatea $b < \dfrac{\lambda}{4n \sin u}$ în care u este semiunghiul dintre direcțiile razelor care pornesc dintr-un punct oarecare al sursei de lumină și interferă într-un punct oarecare de pe ecran (vezi figura 39.II) iar n este indicele de refracție al mediului în care se află sursa de lumină.

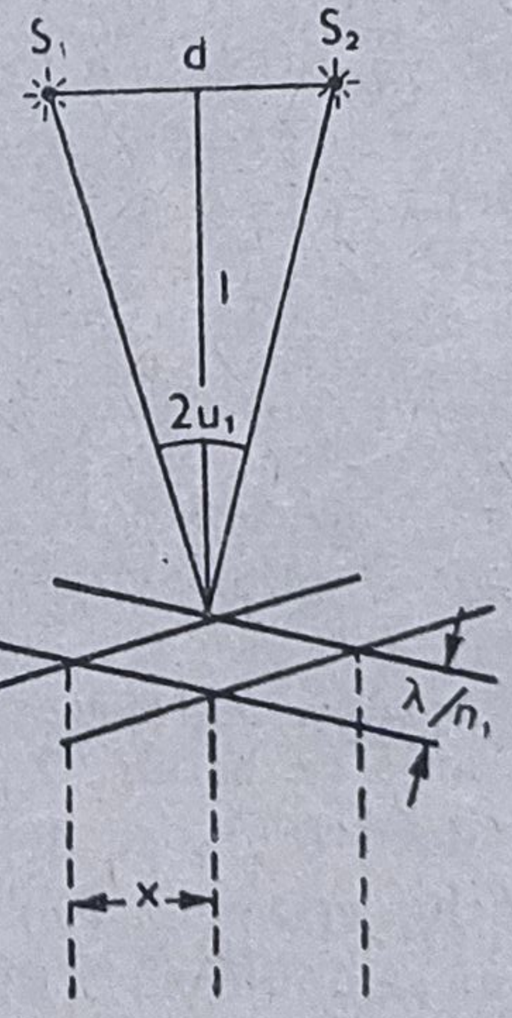


Fig. 39.I.

III. Numărul de lungimi de undă cuprinse în diferența de drum a două raze care se reflectă sub unghiul i pe cele două fețe ale unei lame transparente subțiri este $\nu = \dfrac{2d}{\lambda}(n^2 - \sin^2 i) + \dfrac{1}{2}$.

IV. Unghiurile φ cu normala ale direcțiilor în care se formează maxime, cu o rețea de difracție la incidența normală, satisfac relația $c \sin \varphi = k\lambda$ ($k = 0, 1, 2, \ldots$) (k — ordinul spectrului, c — constanta rețelei). Dacă razele cad pe rețea sub unghiul i are loc relația $c(\sin \varphi - \sin i) = k\lambda$.

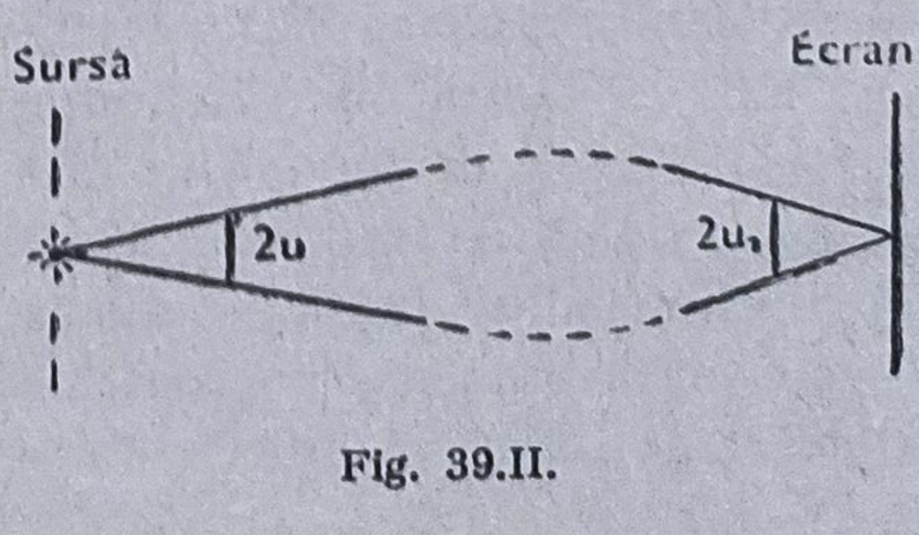


Fig. 39.II.

V. Relația Wulf-Bragg la reflexia razelor Röntgen pe un cristal: $k\lambda = 2d \sin \theta$ (λ — lungimea de undă, k — ordinul spectrului, d — constanta rețelei cristaline, θ — unghiul dintre raza reflectată și fața cristalului).

VI. Puterea de rezoluție a unei rețele de difracție: $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$ (N — numărul total de zgîrieturi ale rețelei de difracție).

VII. Puterea de rezoluție a unui dispozitiv optic se determină din relația $b > \frac{\lambda}{2n \sin u}$ (b — distanța minimă dintre două striuri al obiectului observabile cu ajutorul dispozitivului respectiv, n — indicele de refracție al mediului aflat între aparat și obiect, u — semiunghiul de deschidere a razelor care pornesc din punctele obiectului și ajung în dispozitivul optic).

VIII. La reflexia luminii pe un dielectric de indice de refracție n_2 într-un mediu cu indicele de refracție n_1, polarizarea totală are loc la unghiul de incidență brewsteriană, care satisface relația

$$\operatorname{tg} i = \frac{n_2}{n_1}.$$

IX. Intensitatea luminoasă I după trecerea printr-un polarizor și un analizor ale căror plane de polarizare formează unghiul α: $I = I_0 \cos^2 \alpha$ unde I_0 este intensitatea luminii polarizate care cade pe analizor.

X. Unghiul de rotire a planului de polarizare $\psi = \alpha d$, unde α — constanta de rotire, care depinde de natura substanței și de lungimea de undă a luminii, d — drumul razei de lumină în substanță. Pentru soluții unghiul de rotire se află din relația $\psi = [\alpha]dc$ ($[\alpha]$ — constanta specifică de rotire, d — drumul razei în soluție, c — concentrația substanței active, adică masa de substanță activă din unitatea de volum a soluției).

○ 39.1. Lungimea de undă a razelor roșii în apă este egală cu lungimea de undă a razelor verzi în aer. Apa este luminată cu raze roșii. Ce culoare vede un om care deschide ochii în apă?

△ 39.2. Unghiul dintre oglinzile Fresnel este $\alpha = 10'$. O fantă, aflată la $r = 10$ cm de muchia oglinzilor trimite raze de lumină cu $\lambda = 0{,}6$ μm. Ecranul de observație se găsește la $L = 270$ cm de muchia oglinzilor. a) Care este interfranja pe ecran? b) Ce se va întîmpla cu tabloul de interferență de pe ecran dacă fanta se deplasează cu $s = 2$ mm rămînînd la aceeași distanță de muchia oglinzilor? c) Aceeași întrebare dacă distanța de la fantă la muchia comună se dublează? d) Să se justifice relația de la punctul II pentru figura de interferență obținut cu ajutorul oglinzilor lui Fresnel. e) Să se afle lărgimea maximă a fantei pentru care se mai pot observa franjele de interferență. f) Cîte franje de inteferență se pot observa pe ecran? Observație: Să se rezolve în prealabil problema 38.1.

△ 39.3. În figura 39.3 se reprezintă schema experienței cu biprismele lui Fresnel. Razele de lumină de la o sursă S (o fantă) traversează biprisma B și dau o figură de interferență pe ecranul E. Cu cît este egal unghiul obtuz δ al biprismei dacă fanta se află la $d = 50$cm de biprismă, iar ecranul la $L = 450$ cm de biprismă și interfranja este $x = 1{,}1$ mm? Se dau $\lambda = 590$ nm (flacără de sodiu) și indicele de refracție al biprismei $n = 1{,}578$ (flint ușor).

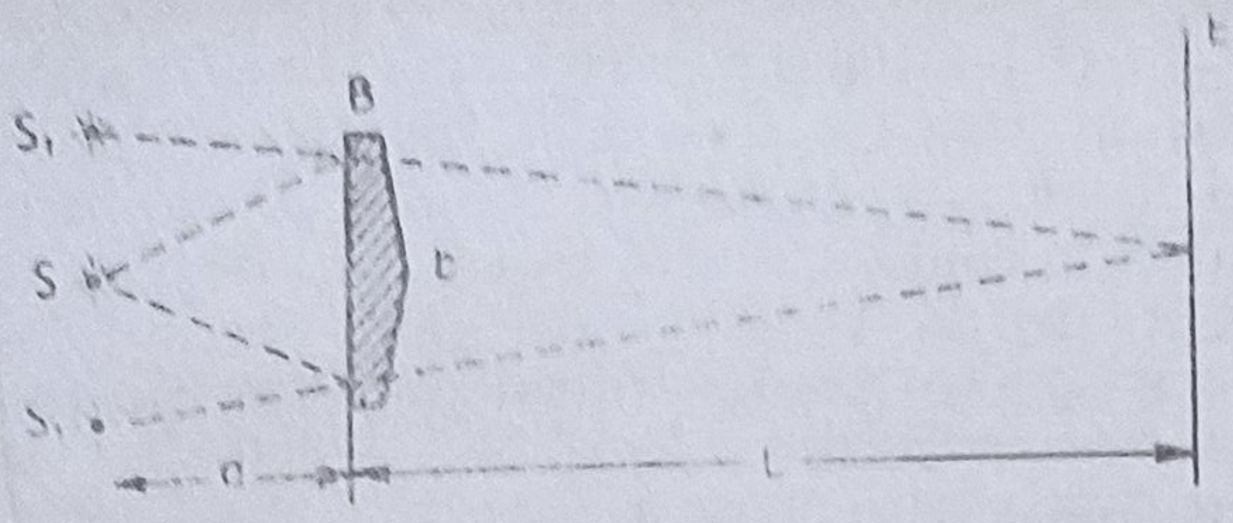


Fig. 39.3.

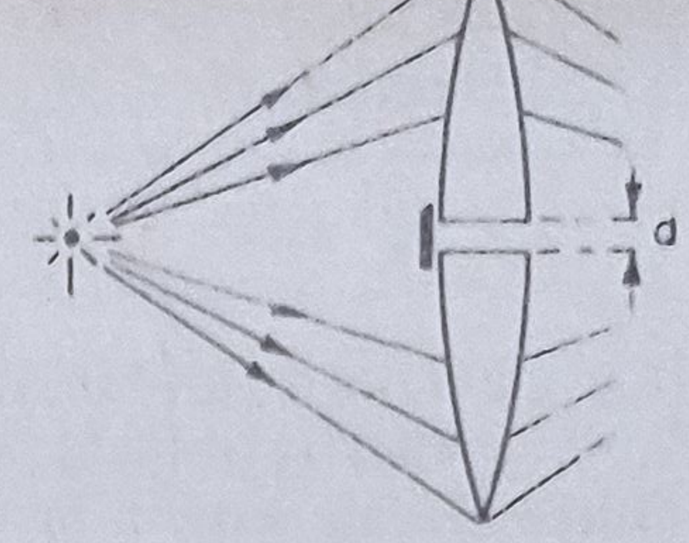


Fig. 39.4.

△ 39.4. Razele de lumină provenite de la un fir incandescent trec prin două semilentile convergente (vezi figura 39.4). Pe un ecran se obțin franje de interferență. a) Să se explice producerea franjelor. b) Să se calculeze distanța dintre franjele întunecate dacă firul incandescent se află la 20 cm de cele două semilentile, distanța focală a semilentilelor este de 10 cm, iar distanța dintre semilentile este $d = 1$ mm. Ecranul se află la 450 cm de semilentile, iar $\lambda = 500$ nm. c) Cît trebuie să fie diametrul firului spre a se obține tabloul de interferență ? d) Cîte franje se obțin pe ecran ?

○ 39.5. Care este grosimea unei pelicule de săpun care apare colorată în verde ($\lambda = 500$ nm) în lumină reflectată într-o direcție care face 35° cu normala ? Indicele de refracție al peliculei este $n = 1{,}33$.

△ 39.6. În imaginea unei flăcări de sodiu observată într-o peliculă verticală de săpun (vezi figura 39.6) se observă dungi orizontale întunecate aflate la $l = 5$ mm. Indicele de refracție al peliculei este $n = 1{,}33$. Care este unghiul dintre fețele peliculei ?

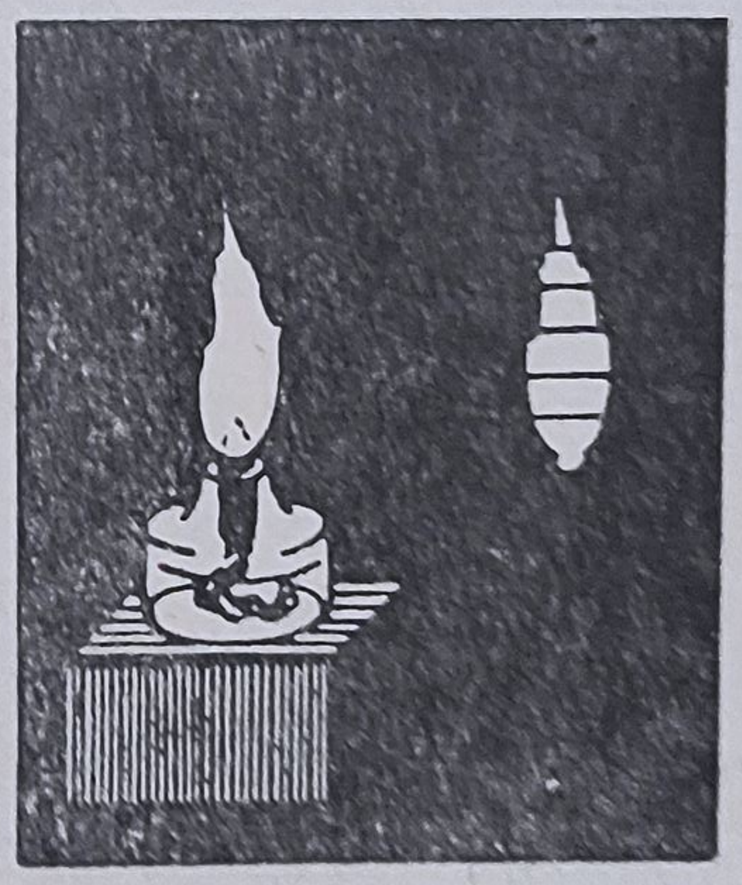


Fig. 39.6.

△ 39.7. a) Care este grosimea maximă d_m a unei pelicule de săpun pentru care se observă figura de interferență din desenul 39.6 în următoarele condiții : ochiul observatorului se află la nivelul peliculei, flacăra de sodiu ($\lambda = 589$ nm) se află la distanța $a = 30$ cm de punctul din care se observă pelicula, înălțimea flăcării $l = 3$ cm ; lumina de la flacără cade pe peliculă sub unghiul $\alpha = 45°$? b) De ce în pelicula abia formată franjele de interferență inițial nu se observă și apoi apar de sus în jos ? c) De ce în lumină albă se văd franje colorate și numai în partea superioară a peliculei ?

○ 39.8. În figura 39.8 se reprezintă schema experienței pentru obținerea inelelor lui Newton în lumină reflectată. Razele de lumină se pot reflecta pe fețele 1, 2 sau 3. De ce în calcul se iau în considerație numai razele reflectate pe fețele 2 și 3 și nu cele reflectate pe fețele 1 și 2 ?

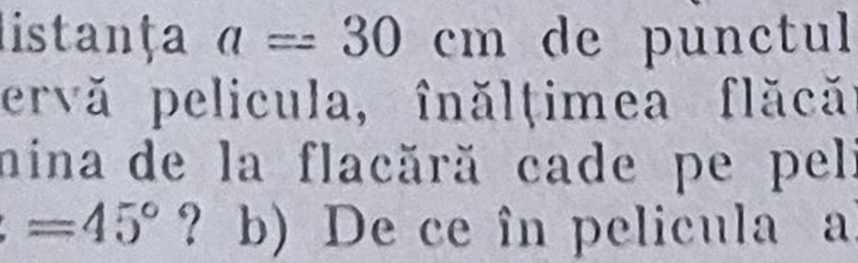


Fig. 39.8.

△ 39.9. O lentilă convergentă este așezată pe o lamă plană. Din cauza prafului lentilele nu vin în contact. (Vezi figura 39.9.) Diametrele celui de-al 3-lea și celui de-al 15-lea inel întunecat al lui

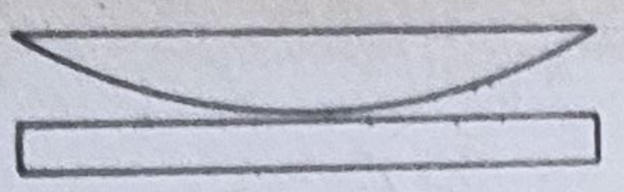


Fig. 39.9.

Newton sînt respectiv de 0,7 mm şi 1,7 mm. Să se afle raza de curbură a feţei convexe a lentilei.

△ 39.10. O lentilă biconvexă simetrică din sticlă este acolată cu o lentilă identică, formînd un sistem cu convergenţa $C = 0{,}25\ D$. În jurul punctului de contact dintre lentile, se observă în lumină reflectată inele de interferenţă. a) Să se afle raza celui de-al 5-lea ($k = 5$) inel întunecat, dacă $\lambda = 0{,}6\ \mu m$. b) Aceeaşi întrebare dacă spaţiul dintre lentile este plin cu apă.

△ 39.11. Un observator măsoară lărgimea a 10 inele ale lui Newton depărtate de centru şi găseşte 0,7 mm. Lărgimea următoarelor 10 inele este 0,4 mm. Observarea are loc în lumina reflectată cu $\lambda = 589$ nm. Să se afle raza de curbură a feţei convexe.

○ 39.12. a) Care este forma franjelor de interferenţă dacă se aşază o lentilă cilindrică pe o lamă plană ? b) Care este forma franjelor de interferenţă dacă se acolează două lentile cilindrice astfel ca generatoarele lor să formeze un unghi drept ?

○ 39.13. Spectrul sodiului constă din două linii cu $\lambda_1 = 589$ nm şi $\lambda_2 = 589{,}59$ nm. Să se afle ordinul de interferenţă al unui inel întunecat al lui Newton, corespunzător unei linii care coincide cu minimul de ordinul următor al celeilalte linii (în lumină reflectată).

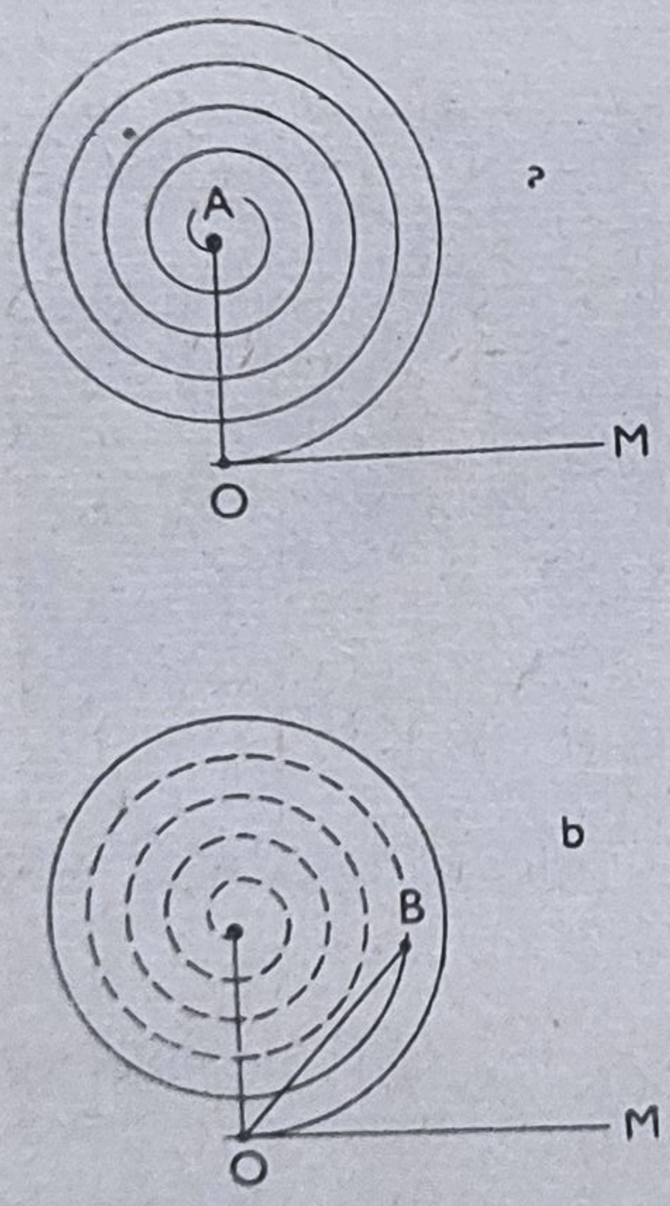


Fig. 39.14.

○ 39.14. În figura 39.14 a) este reprezentată diagrama amplitudinii oscilaţiilor produse de o sursă S şi care ajung într-un punct oarecare K. Fiecare jumătate a unei spire corespunde unei zone Fresnel. Direcţia OM indică faza oscilaţiei care ajunge de la S în K în linie dreaptă. Segmentul OA indică amplitudinea oscilaţiei în K în absenţa oricăror obstacole între S şi K. În figura b) este reprezentată diagrama corespunzătoare cazului cînd între S şi K se află un obstacol cu o deschidere al cărei diametru este egal cu primele 2—4 zone Fresnel. Porţiunea plină a spiralei corespunde zonelor situate în dreptul deschiderii, iar cea punctată celor obturate OB este amplitudinea oscilaţiilor în K. a) Să se traseze asemenea diagrame pentru cazurile cînd obstacolul obturează toate zonele Fresnel afară de : 1) prima zonă ; 2) două zone ; 3) trei zone şi jumătate. (Spirala se va trasa cu aproximaţie.) b) Să se arate că în absenţa obstacolelor intensitatea luminoasă (iluminarea) în punctul K este aproximativ de 4 ori mai mică decît intensitatea luminoasă corespunzătoare numai primei zone Fresnel. c) Să se arate că intensitatea luminoasă, în cazul cînd deschiderea corespunde numai la o jumătate din prima zonă Fresnel, este aproximativ de 2 ori mai mare decît intensitatea în cazul absenţei obstacolelor. d) Să se traseze diagrama pentru cazul cînd primele 1,5 zone sînt obturate cu un disc. e) Aceeaşi întrebare pentru cazul cînd deschiderea este inelară şi situată în dreptul zonelor a treia şi a patra. f) Aceeaşi întrebare pentru cazul cînd zonele 3 şi 4 sînt obturate.

△ 39.15. O sursă punctiformă S de lumină produce radiații cu $\lambda = 5\,500$ Å și luminează un ecran situat la $l = 11$ m de S. Între S și ecran, la distanța $a = 5$ m de ecran, se află un obstacol cu o deschidere circulară avînd diametrul $d = 4{,}2$ mm. Cum va fi iluminarea în centrul figurii de difracție de pe ecran: mai mare sau mai mică decît în cazul cînd obstacolul este îndepărtat?

○ 39.16. Care este rolul lentilei în experiențele cu rețeaua de difracție?

△ 39.17. Un fascicul luminos cade normal pe partea zgîriată a unei rețele de difracție, iar pe partea cealaltă se observă spectrul și se măsoară lungimea de undă. Razele de lumină se difractă în sticlă, trec prin lamă și ies în aer. Rezultă de aici că se măsoară lungimea de undă în sticlă?

△ 39.18. O lamă transparentă plană are o față netedă și alta prevăzută cu șanțuri cilindrice egale, cu lărgimea de ordinul a 0,01 mm (vezi figura 39.18). a) Cum influențează această lamă mersul razelor de lumină care cad pe suprafața ei? b) Cum se modifică această influență dacă lama se introduce într-un lichid care are același indice de refracție ca și lama?

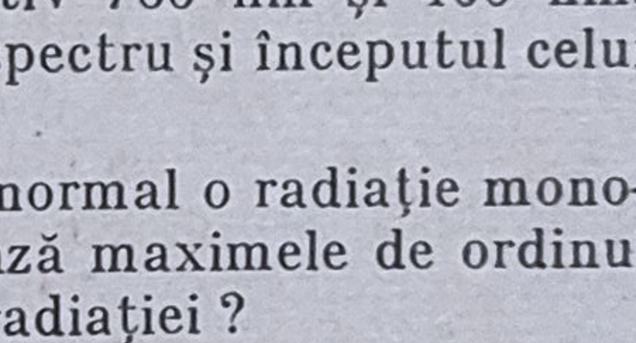


Fig. 39.18.

○ 39.19. Pe o rețea de difracție cad normal raze de lumină produse de o flacără de sodiu ($\lambda = 589$ nm). Maximul de ordinul III se obține sub unghiul de 10°11′. Care este lungimea de undă pentru care sub unghiul de 6°16′ se obține maximul de ordinul II?

○ 39.20. Pe o rețea de difracție cu 50 zgîrieturi pe mm cade normal un fascicul paralel de lumină albă. Care este diferența unghiurilor sub care se formează sfîrșitul primului spectru și începutul celui de-al doilea? Lungimile de undă ale razelor extreme roșii și violete sînt respectiv 760 nm și 400 nm. b) Aceeași întrebare pentru sfîrșitul celui de-al doilea spectru și începutul celui de-al treilea.

△ 39.21. Pe o rețea cu constanta de 0,006 mm cade normal o radiație monocromatică. Unghiul dintre direcțiile în care se formează maximele de ordinul I și II este de 4°26′. Care este lungimea de undă a radiației?

○ 39.22. Să se afle ordinul maxim al spectrului care se poate obține cu o rețea de difracție avînd 500 trăsături pe mm, dacă $\lambda = 590$ nm. Se vor considera două cazuri: a) lumina cade normal pe rețea; b) lumina cade sub unghiul de 30°.

△ 39.23. Privind printr-o rețea de difracție la un bec mai îndepărtat se observă franje de difracție. Să se explice toate fenomenele care apar dacă: a) rotim rețeaua în jurul unei axe perpendiculară pe planul său și care trece prin mijlocul rețelei; b) deplasăm rețeaua perpendicular pe dreapta care unește becul cu ochiul observatorului precum și în lungul acestei drepte; c) rotim rețeaua în jurul unei axe din planul său, paralelă cu zgîrieturile rețelei; d) rotim rețeaua în jurul unei axe din planul său, perpendiculară pe zgîrieturile rețelei.

△ 39.24. Două medii cu indicii de refracție n_1 și n_2 sînt mărginite de o suprafață plană pe care sînt trasate zgîrieturi, formînd o rețea de difracție cu constanta C. Să se arate că radiațiile a căror lungime de undă $\lambda > (n_1 + n_2)c$ trec prin rețea ca și printr-o suprafață netedă.

□ 39.25. O lamă transparentă are zgîrieturi pe ambele fețe. Pe lamă cade normal o radiație monocromatică. Prin ce diferă influența unei asemenea rețele asupra luminii în comparație cu o rețea de aceeași grosime, cu zgîrieturi pe

o singură parte? Se vor considera două cazuri: a) grosimea lamei este mult mai mare decît constanta rețelei; b) grosimea lamei este egală cu constanta rețelei.

△ 39.26. Radiațiile Röntgen produse de un anticatod de paladiu cad pe fața (100) a unui cristal de clorură de sodiu și se reflectă sub unghiul de 5,9°. a) Să se calculeze lungimea de undă a radiațiilor incidente știind că rețeaua cristalină de NaCl are aspectul din figura 39.26 în care punctele albe reprezintă pozițiile ionilor de Na, iar cele negre, ale ionilor de Cl. Fața (100) este paralelă cu planul YZ. b) Sub ce unghi se produce reflexia de ordinul I pentru suprafața (100)? (Această suprafață este paralelă cu axa Z și taie pe axele X și Y segmente egale.)

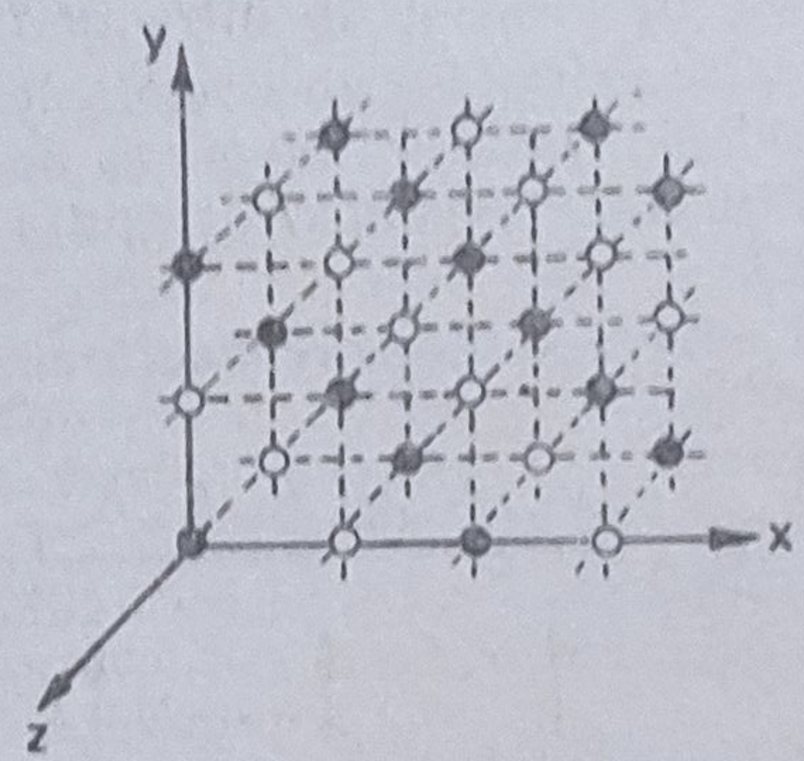


Fig. 39.26.

○ 39.27. Care trebuie să fie lungimea unei rețele de difracție cu 50 zgîrieturi pe mm pentru ca în spectrul de ordinul II, să se poată observa distinct cele două linii ale sodiului, de 5 800 Å și 5 896 Å?

○ 39.28. Pupila ochiului omenesc își poate modifica diametrul între 2 mm și 8 mm. Cum se explică faptul că cea mai mare agerime a vederii se obține pentru diametrul pupilei de 3—4 mm?

○ 39.29. Ochiul omenesc normal distinge două linii aflate la 3 mm, trasate pe hîrtie albă, de la distanța de 10 m. Un ochi ager distinge cele două linii la 2 mm una de alta. Corespund aceste date cu puterea de rezolvare a ochiului calculată cu formula de la pct. VII? Se va lua diametrul pupilei de 3 mm iar lungimea de undă a luminii de 6 000 Å.

○ 39.30. Presupunem că diametrul pupilei la privirea printr-un binoclu cu prisme care mărește de 8 ori este de 5 mm. Care trebuie să fie diametrul monturii obiectivului pentru ca puterea de rezoluție obținută prin folosirea binoclului să fie tot de 8 ori mai mare decît în cazul cînd se privește cu ochiul liber?

○ 39.31. Să se afle indicele de refracție în următoarele cazuri: a) pentru email netransparent pentru care unghiul de polarizare totală prin reflexie este de 58°; b) pentru un mediu transparent al cărui unghi de polarizare totală este egal cu unghiul limită de reflexie totală.

△ 39.32. Să se afle unghiul de polarizare totală prin reflexia la limita sticlă-apă.

△ 39.33. Care trebuie să fie unghiul de refracție al unei prisme pentru ca o rază de lumină să intre și să iasă din prismă sub unghiul de polarizare totală? Cît este în acest caz unghiul de deviație minimă?

△ 39.34. O rază de lumină naturală cade pe o lamă cu fețe plane paralele sub unghiul de polarizare totală, pentru care intensitatea razei reflectate reprezintă cca 0,1 din intensitatea razei de lumină naturală incidentă. Să se calculeze intensitatea razelor de lumină naturală și polarizată indicate prin cifre pe figura 39.34,

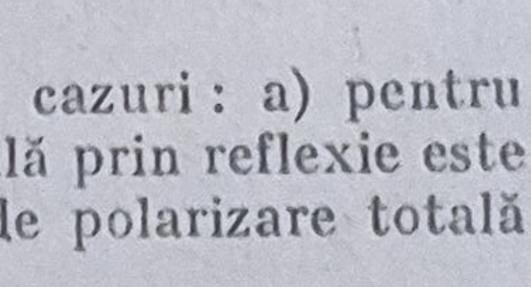


Fig. 39.34.

luînd intensitatea razei incidente egală cu unitatea. Se neglijează absorbția luminii.

○ 39.35. Presupunem că un nicol absoarbe lumina aşa încît intensitatea maximă a luminii polarizate care trece prin nicol este egală cu 90% din intensitatea luminii polarizate incidente pe nicol. a) De cîte ori se micşorează intensitatea luminii naturale la trecerea prin doi nicoli ale căror plane de polarizare formează unghiul de 63° ? b) De cîte ori se micşorează intensitatea luminoasă dacă în afara celor doi nicoli lumina trece şi printr-un al treilea al cărui plan de polarizare coincide cu al primului nicol ?

□ 39.36. Două pachete de lame de sticlă folosite ca polarizori, avînd planele de polarizare paralele, lasă să treacă de $n = 16$ ori mai multă lumină decît atunci cînd planele sînt încrucişate ? Să se afle gradul de polarizare p (raportul intensităţilor luminii polarizate către intensitatea totală a luminii transmise) pentru fiecare pachet în parte. b) Care va fi gradul de polarizare p dacă se dublează numărul de lame de sticlă din fiecare pachet ?

○ 39.37. Să se afle grosimea unei lame de cuarţ pentru care unghiul de rotire a planului de polarizare al luminii cu $\lambda = 509$ nm este 180°. Constanta de rotire a cuarţului pentru lungimea de undă dată este 29,7 grad·mm^{-1}.

□ 39.38. O radiaţie monocromatică ($\lambda = 4\,047$ Å) trece printr-un polaroid P (vezi figura 39.38) şi cade pe o lamă de cuarţ în formă de pană cu unghiul dintre feţe $\theta = 7°48'$. Direcţia axei optice în cuarţ este indicată prin haşură. Grosimea penei este de ordinul a cîţiva mm. Constanta de rotire a cuarţului pentru lungimea de undă dată este 48,9 grad. mm^{-1}. Ce vede un observator care priveşte printr-un al doilea polaroid A ?

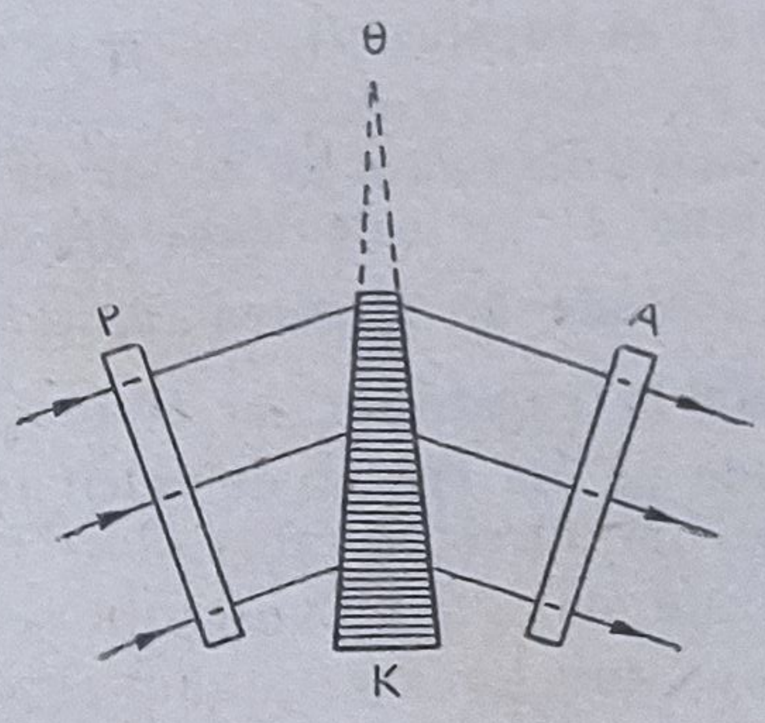


Fig. 39.38.

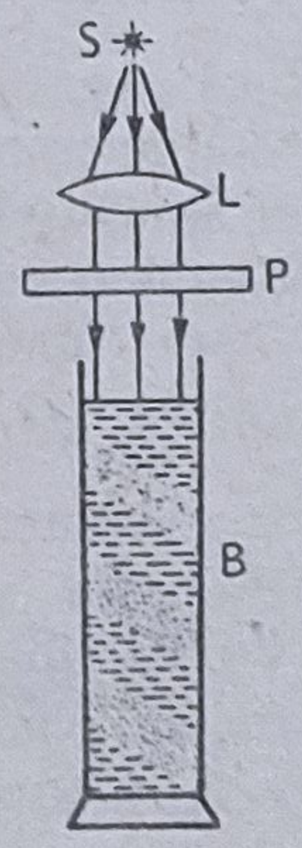


Fig. 39.39.

△ 39.39. În figura 39.39 se reprezintă schema experienţei demonstrative a celebrului fizician rus Umov. Lumina de la o sursă S trece printr-un polaroid P şi pătrunde într-un vas B care conţine o soluţie puţin tulbure de zahăr. În soluţie se observă o dungă întunecată în formă de spirală. a) Explicaţi fenomenul. b) Care este pasul spiralei întunecate în următoarele condiţii: soluţia conţine 650 gr zahăr la un litru de apă, densitatea soluţiei este $1{,}32\ \frac{g}{cm^3}$? Lumina are $\lambda = 521$ nm pentru care constanta de rotire este 87 grad. dm^{-1}.

§ 40. Fenomene cuantice în optică

I. Energia fotonului $\varepsilon = h\nu$ (h — constanta lui Planck, ν — frecvența).
II. Ecuația lui Einstein pentru efectul fotoeletric extern: $\frac{mv^2}{2} = h\nu - \varphi$ (φ — lucrul de ieșire a electronului, m, v — masa și viteza fotoelectronului).
III. Presiunea luminii (la reflexie, sub incidență normală); $p = \frac{I}{C}(1 + r)$ (I — intensitatea luminii, r — coeficientul de reflexie, c — viteza luminii).
IV. Lungimea de undă a undei asociate: $\lambda = \frac{h}{mv}$ (m — masa particulei aflată în mișcare cu viteza v).

○ 40.1. Să se calculeze energia unui foton: a) de lumină roșie ($\lambda = 600$ nm). b) de radiație Röntgen dură ($\lambda = 1$ Å). La ce temperatură energia medie de agitație termică (pentru un grad de libertate) este egală cu energiile fotonilor menționați?

○ 40.2. Becul unei lanterne de buzunar are o putere de cca. 1 W. Presupunînd că această putere este radiată în toate direcțiile și că lungimea de undă corespunzătoare frecvenței medii este 1 μm să se calculeze cîți fotoni cad pe o suprafață de 1 cm² așezată la 10 m perpendicular pe direcția razelor în timp de o secundă.

○ 40.3. Care este lungimea de undă maximă a radiațiilor care pot produce efect fotoelectric în cazul: a) platinei?, b) cesiului?

○ 40.4. Care este viteza maximă a unui fotoelectron emis de cesiu sub acțiunea radiațiilor cu $\lambda = 400$ nm?

△ 40.5. Un fotoelement cu seleniu are sensibilitatea de curent $200\ \frac{\mu A}{lm}$. Admițînd că această sensibilitate corespunde iluminării fotoelementului cu o radiație monocromatică cu $\lambda = 5{\cdot}510$ Å să se afle cîți fotoni revin unui electron al fotocurentului.

○ 40.6. Lungimea de undă minimă a radiațiilor care se obțin cu un tub Röntgen care funcționează la o tensiune U se calculează din formula $\lambda_0 = \frac{A}{U}$ unde A este o constantă care depinde de alegerea unităților. Să se calculeze mărimea A dacă λ se exprimă în angstromi, iar U în kilovolți.

△ 40.7. Radiația unui tub Röntgen cade pe un cristal de calcit ($CaCO_3$). Unghiul minim dintre planul cristalului și direcția radiațiilor Röntgen pentru care se poate observa reflexia este de 2°36′. Constanta rețelei de calcit este $3{,}04 \cdot 10^{-8}$ cm. Sub ce tensiune funcționează tubul Röntgen?

△ 40.8. a) Să se afle presiunea razelor solare pe suprafața unui corp negru aflat la aceeași distanță de soare ca și pămîntul. Unghiul de incidență este egal cu zero. Constanta solară (intensitatea radiației solare la limita atmosferei) este $1{,}35 \cdot 10^3$ J/m²S. b) Aceeași întrebare pentru un corp care reflectă toate razele. c) Aceeași întrebare pentru o lamă de sticlă care reflectă 4% din totalitatea razelor și absoarbe 6% din energia lor.

△ 40.9. O porțiune a balonului unui bec cu incandescență de formă sferică cu raza de 4 cm este argintată. Becul consumă 50 W din care 90% se folosesc pentru radiație. Ce este mai mare, presiunea gazului din bec (10^{-8} Torr) sau presiunea luminii pe porțiunea argintată a balonului?

△ 40.10. Lumina cade pe o plăcuță plană sub un unghi $\alpha \neq 0$. În ce direcție se va mișca plăcuța : a) dacă suprafața sa absoarbe complet lumina ?, b) dacă o reflectă complet ?

□ 40.11. O plăcuță metalică plană lucioasă pe o parte ($r = 1$) și înnegrită pe cealaltă ($r = 0$) este suspendată în vid. Pe fețele ei cade normal o radiație luminoasă intensă. Să se afle raportul forțelor care acționează asupra plăcuței.

△ 40.12 Presupunem că un fir de praf aflat în vid se mișcă accelerat datorită presiunii luminii. Pe seama cui se mărește energia sa cinetică ?, Se vor considera cazurile : a) firul de praf reflectă toate razele ; b) firul de praf absoarbe toate razele.

○ 40.13. Să se calculeze lungimile de undă ale undelor asociate următoarelor procese : a) mișcarea unei particule cu viteza de 5 000 $\frac{km}{s}$; b) mișcarea moleculelor de oxigen cu viteza medie la temperatura de 27°C.

○ 40.14. Electronii care cad pe o foiță de aluminiu dau o figură de difracție iar spectrul de ordinul I se formează sub unghiul de 1,1°. Constanta de rețea a aluminiului este 4,05. Å. Care este viteza electronilor ?

○ 40.15. Într-un microscop electronic electronii sînt accelerați la o diferență de potențial de 90 kV. Cît poate fi apertura microscopului, dacă trebuie distinse detalii cu dimensiunea de circa 1 nm ?

△ 40.16. a) Să se arate că relația de cuantificare din teoria lui Bohr este echivalentă cu condiția ca fiecare orbită să cuprindă un număr întreg de lungimi de undă asociate mișcării electronului. b) Să se calculeze raza orbitei electronului atomului de hidrogen corespunzătoare minimului energiei totale. c) Să se calculeze energia de ionizare a atomului de hidrogen adică de îndepărtare completă a electronului de pe prima orbită. d) Să se calculeze lungimea de undă a radiației emise de atomul de hidrogen la tranziția electronului de pe orbita cu $n = 4$ pe orbita cu $n = 2$. Care este variația vitezei atomului de hidrogen ? e) Să se calculeze lungimea de undă emisă de heliul ionizat la tranziția electronului de pe orbita cu $n = 4$ pe orbita cu $n = 2$.

§ 41. Legile radiației

I. Un corp care absoarbe integral toate radiațiile electromagnetice se numește corp absolut negru sau radiator integral. Coeficientul de absorbție al corpului absolut negru este egal cu 1 ($A = 1$) pentru toate lungimile de undă. Pentru corpurile care nu sînt absolut negre $A < 1$ și depinde de lungimea de undă. Un corp ideal pentru care A are aceeași valoare la toate lungimile de undă se numește corp cenușiu.

II. Pereții interiori ai unei cavități a unui corp oarecare se comportă ca un corp absolut negru (radiator integral) dacă temperatura pereților este aceeași în orice punct. Proprietățile pereților unei cavități deschise se apropie de proprietățile radiatorului integral cu atît mai mult cu cît deschiderea este mai mică în comparație cu suprafața totală a pereților.

III. Puterea radiației de pe unitatea de suprafață a unui corp negru în intervalul de frecvențe de la ν la $\nu + \Delta\nu$ este $\Delta i_\nu = A \cdot \Delta J_\nu$. A este coeficientul de absorbție în același interval de frecvențe, ΔJ_ν puterea radiației de pe unitatea de suprafață a radiatorului integral în același interval (Legea lui Kirchhoff).

IV. Puterea de radiație însumată de pe unitatea de suprafață a corpului negru avînd temperatura T, $J = \sigma T^4$ (legea Stefan).
V. Puterea de radiație însumată de pe unitatea de suprafață a unui corp oarecare $J = \varepsilon\sigma T^4$ (ε— coeficientul radiației totale a corpului dat egal, conform legii lui Kirchhoff, cu coeficientul de absorbție însumată a corpului, dependent de natura corpului și de temperatură). La corpurile cenușii ε nu depinde de temperatură.
VI. Formula lui Planck pentru funcția de distribuție a puterii radiatorului integral pe intervale de frecvențe: $E_{(\nu)} = \frac{\Delta J_\nu}{\Delta \upsilon} = \frac{2\pi h \upsilon^3}{c^2\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)}$.

VII. Legătura între temperatura radiatorului integral și lungimea de undă corespunzătoare maximului funcției de distribuție a puterii radiatorului integral pe intervale de lungimi de undă $\lambda_0 T = C$, C — o mărime constantă.
VIII. În rezolvarea problemelor privind radiația wolframului se vor folosi datele din tabelul XXIX.

● 41.1. Puterea radiației suprafeței pămîntului în spațiul cosmic este 91 $\frac{J}{cm^2 \cdot s}$. a) Care este temperatura corpului absolut negru (radiator integral) avînd aceeași putere de radiație? b) Care este coeficientul radiației totale a unui corp dacă la temperatura de 15° (temperatura medie a suprafeței pămîntului) el are aceeași putere de radiație?

● 41.2. Un filament de wolfram este adus la incandescență în vid cu un curent de 1 A la temperatura de 1 000 K. La ce intensitate a curentului firul atinge 3 000 K? În calcul se neglijează pierderile de energie la clemele filamentului și radiația inversă a corpurilor înconjurătoare.

● 41.3. Un filament de wolfram cu diametrul de 0,1 mm este legat în serie cu un alt filament, tot de wolfram. Filamentele, aflate în vid ajung la incandescență, primul la 2 000 K, al doilea la 3 000 K. Care este diametrul celui de-al doilea filament?

▲ 41.4. Temperatura filamentului de wolfram al unui bec electric alimentat cu curent alternativ oscilează. Diferența temperaturilor maximă și minimă este de 80°. Dacă becul are 15 W și este construit pentru tensiunea de 120 V iar frecvența curentului este de 50 Hz, de cîte ori se schimbă puterea totală de radiație în urma oscilației temperaturii dacă valoarea sa medie este de 2 300 K? Wolframul radiază ca un corp cenușiu.

▲ 41.5. La funcționarea tuburilor electronice anodul se încălzește în urma bombardamentului cu electroni. Energia se disipă în principal prin radiație, mult mai puțin prin conductibilitate. Să se calculeze intensitatea maximă permisă a curentului anodic dacă tubul funcționează sub tensiunea de 400 V. Anodul este din nichel, are formă cilindrică cu lungimea de 4 cm și diametrul de 1 cm. Se va considera că energia se disipă numai de pe suprafața exterioară a cilindrului și că încălzirea anodului pînă la 1 000 K este permisă. La această temperatură coeficientul radiației totale a nichelului este 0,2.

■ 41.6. Un filament de wolfram cu diametrul de 0,1 mm și cu temperatura de 2 500 K se află în vid. a) Cu cît diferă temperatura filamentului pe axa sa față de suprafață cunoscînd conductibilitatea termică a wolframului la 2 500 K egală cu 148 J/m·s·grd? b) Ce curent circulă prin filament?

▲ 41.7. Intensitatea radiației solare în apropierea pămîntului la limita superioară a atmosferei (constanta solară) este $J = 1{,}35 \cdot 10^3$ J/m²s. Consi-

derînd că Soarele radiază ca un corp absolut negru, să se calculeze temperatura suprafeței sale.

▲ 41.8. Să se calculeze diametrul unei particule cosmice sferice dacă forțele determinate de presiunea luminii și atracția soarelui, se echilibrează. Particula este din fier. Temperatura soarelui este 6 000 K.

▲ 41.9. În jurul unei sfere pline, termoconductoare, se află o altă sferă goală. Coeficientul de absorbție al suprafeței exterioare a sferei goale este nul. Dacă temperaturile sferelor sînt egale, cea de a doua radiază mai multă energie decît prima, avînd o suprafață mai mare. Cum se poate pune de acord acest fapt cu al doilea principiu al termodinamicii?

● 41.10. O sobă din material refractar consumă o putere de 0,5 kW. Temperatura suprafeței sale interioare, cînd este deschis un orificiu cu diametrul de 5 cm, este 700°C. Ce fracțiune din puterea absorbită este radiată din pereții sobei?

● 41.11. Prin definiție un lumen este fluxul luminos emis de un corp absolut negru cu suprafața de 0,5305 mm² aflat la temperatura de solidificare a platinei. Ce fracțiune din energia acestui radiator revine spectrului vizibil?

● 41.12. Un filament de wolfram cu diametrul de 0,1 mm este așezat în vid după axa unui tub mult mai lung decît diametrul său. Temperatura tubului se menține la 700 K. Prin filament circulă un curent și temperatura lui se menține cu 300° peste temperatura tubului. Să se calculeze intensitatea curentului. În calcul se va considera că coeficientul integral de absorbție al wolframului a radiației inverse a tubului este egal cu coeficientul radiației totale a wolframului la aceeași temperatură.

▲ 41.13. Grătarul unui focar cu suprafața de 2 m² este înconjurat de pereți de fier. Temperatura cărbunilor de pe grătar este 1 300 K, temperatura pereților este 600 K. Coeficientul de absorbție al cărbunelui și al fierului este 0,9. Să se afle cantitatea de căldură transmisă prin radiație de la grătar la pereți într-o oră.

■ 41.14. Razele solare sînt concentrate cu o lupă cu grosismentul $\frac{d}{f} = 0{,}5$ pe o mică deschidere a unei incinte cu pereții interiori înnegriți și cu cei exteriori lucioși (vezi figura 41.14). Diametrul deschiderii este mai mic decît diametrul imaginii soarelui. Neglijînd pierderile de energie la trecerea razelor prin atmosferă și prin lentilă și cantitatea de căldură transmisă prin pereții incintei, să se afle temperatura din interiorul incintei. Temperatura suprafeței Soarelui este $T = 6\,000$ K.

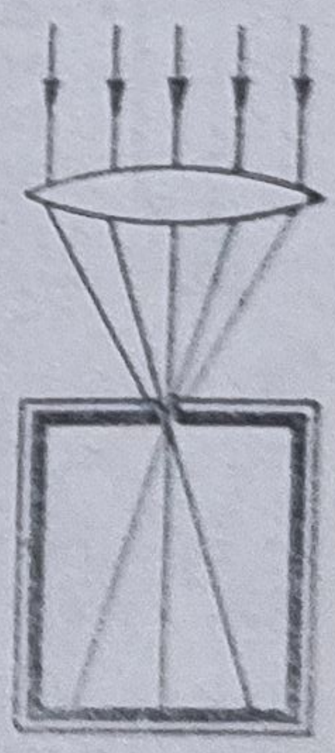


Fig. 41.14.

■ 41.15. În interiorul sistemului solar, la aceeași distanță de Soare R ca și Pămîntul, se află o particulă sferică. Considerînd că Soarele radiază ca un corp absolut negru cu $T_s = 6\,000$ K și că temperatura particulei T este aceeași în toate punctele sale, să se afle T pe baza următoarelor date: a) particula posedă proprietățile corpului cenușiu; b) particula absoarbe și radiază numai radiații în jurul a 5 000 Å; c) particula absoarbe și radiază numai radiații cu λ în jurul a 5 μm.

▲ 41.16. La afeliu Pămîntul se află cu 3,3% mai departe de Soare ca la periheliu. Considerînd pămîntul un corp cenușiu cu $T = 288$ K să se afle diferența de temperatură a pămîntului la afeliu și periheliu.

derînd că Soarele radiază ca un corp absolut negru, să se calculeze temperatura suprafeței sale.

▲ 41.8. Să se calculeze diametrul unei particule cosmice sferice dacă forțele determinate de presiunea luminii și atracția soarelui, se echilibrează. Particula este din fier. Temperatura soarelui este 6 000 K.

▲ 41.9. În jurul unei sfere pline, termoconductoare, se află o altă sferă goală. Coeficientul de absorbție al suprafeței exterioare a sferei goale este nul. Dacă temperaturile sferelor sînt egale, cea de a doua radiază mai multă energie decît prima, avînd o suprafață mai mare. Cum se poate pune de acord acest fapt cu al doilea principiu al termodinamicii?

● 41.10. O sobă din material refractar consumă o putere de 0,5 kW. Temperatura suprafeței sale interioare, cînd este deschis un orificiu cu diametrul de 5 cm, este 700°C. Ce fracțiune din puterea absorbită este radiată din pereții sobei?

● 41.11. Prin definiție un lumen este fluxul luminos emis de un corp absolut negru cu suprafața de 0,5305 mm² aflat la temperatura de solidificare a platinei. Ce fracțiune din energia acestui radiator revine spectrului vizibil?

● 41.12. Un filament de wolfram cu diametrul de 0,1 mm este așezat în vid după axa unui tub mult mai lung decît diametrul său. Temperatura tubului se menține la 700 K. Prin filament circulă un curent și temperatura lui se menține cu 300° peste temperatura tubului. Să se calculeze intensitatea curentului. În calcul se va considera că coeficientul integral de absorbție al wolframului a radiației inverse a tubului este egal cu coeficientul radiației totale a wolframului la aceeași temperatură.

▲ 41.13. Grătarul unui focar cu suprafața de 2 m² este înconjurat de pereți de fier. Temperatura cărbunilor de pe grătar este 1 300 K, temperatura pereților este 600 K. Coeficientul de absorbție al cărbunelui și al fierului este 0,9. Să se afle cantitatea de căldură transmisă prin radiație de la grătar la pereți într-o oră.

■ 41.14. Razele solare sînt concentrate cu o lupă cu grosismentul $\frac{d}{f} = 0{,}5$ pe o mică deschidere a unei incinte cu pereții interiori înnegriți și cu cei exteriori lucioși (vezi figura 41.14). Diametrul deschiderii este mai mic decît diametrul imaginii soarelui. Neglijînd pierderile de energie la trecerea razelor prin atmosferă și prin lentilă și cantitatea de căldură transmisă prin pereții incintei, să se afle temperatura din interiorul incintei. Temperatura suprafeței Soarelui este $T = 6\,000$ K.

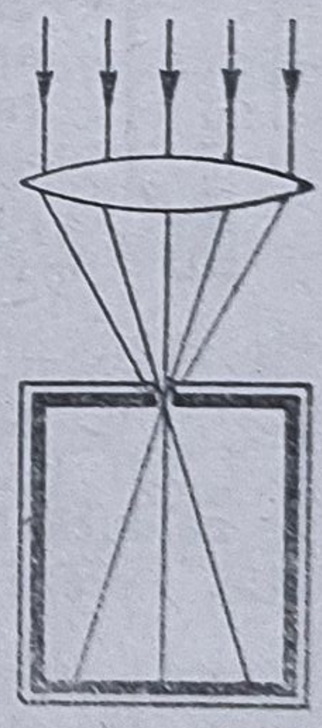


Fig. 41.14.

■ 41.15. În interiorul sistemului solar, la aceeași distanță de Soare R ca și Pămîntul, se află o particulă sferică. Considerînd că Soarele radiază ca un corp absolut negru cu $T_s = 6\,000$ K și că temperatura particulei T este aceeași în toate punctele sale, să se afle T pe baza următoarelor date: a) particula posedă proprietățile corpului cenușiu; b) particula absoarbe și radiază numai radiației în jurul a 5 000 Å; c) particula absoarbe și radiază numai radiației cu λ în jurul a 5 μm.

▲ 41.16. La afeliu Pămîntul se află cu 3,3% mai departe de Soare ca la periheliu. Considerînd pămîntul un corp cenușiu cu $T = 288$ K să se afle diferența de temperatură a pămîntului la afeliu și periheliu.

▲ 41.17. Într-un bec electric filamentul de wolfram cu diametrul $d = 0{,}05$ mm se încălzește la $T_1 = 2\,700$ K. După cît timp de la întreruperea curentului temperatura filamentului coboară la $T_2 = 600$ K ? Se va considera că filamentul radiază ca un corp cenușiu cu coeficientul de absorbție $A = 0{,}3$. Se neglijează orice alte pierderi de temperatură, precum și radiația inversă a pereților.

■ 41.18. Ce bec dă mai multă lumină, unul alimentat în curent continuu, sau unul alimentat în curent alternativ la o tensiune efectivă egală cu tensiunea continuă ?

○ 41.19. Cum s-ar schimba cantitatea totală de energie radiată de Soare, dacă o parte a suprafeței lui s-ar răci puțin, iar o alta s-ar încălzi tot cu atîta ?

▲ 41.20. Care este forma funcției de distribuție a radiației corpului absolut negru : a) pe intervale de lungimi de undă ; b) pe intervalele logaritmilor frecvențelor ; c) pe intervalele logaritmilor lungimilor de undă. Să se arate că, pentru o temperatură dată, maximele funcțiilor de distribuție, pe intervale de frecvențe și pe intervale de lungimi de undă, corespund la diferite lungimi de undă, iar maximele funcțiilor de distribuție, pe intervalele logaritmilor acestor mărimi, corespund la aceleași lungimi de undă.

▲ 41.21. Să se afle lungimile de undă care corespund maximelor funcției de distribuție pe intervale de lungimi de undă în următoarele cazuri : a) Un bec cu filament liniar (vezi figura 41.21) cu lungimea $l = 15$ cm și diametrul $d = 0{,}03$ mm consumă o putere $P = 10$ W din care circa 2 W se disipă prin termoconductibilitate. Filamentul radiază ca un corp cenușiu cu coeficientul de absorbție $A = 0{,}3$. b) Becul respectiv se introduce într-un cilindru metalic de pe suprafața căruia (150 cm^2) se disipă puterea de mai sus. Pierderile prin termoconductibilitate și coeficientul de absorbție sînt aceleași.

Fig. 41.21.

▲ 41.22. Pe un ecran se obține spectrul radiației craterului unui arc electric cu temperatura de 4 000 K. Să se determine raportul x al puterilor radiațiilor care cad pe porțiunile ecranului dintre 695 nm — 705 nm (roșu) și 395 nm — 405 nm (violet). Craterul radiază ca un corp negru. Absorbția în sticlă și în aer este aceeași pentru razele roșii și violete.

□ 41.23. Într-un tub lung ($L = 100$ m) cu diametrul $D = 1$m care se rotește, se menține la un capăt o temperatură $T_1 = 1\,200$ K și $T_2 = 1\,300$ K la celălalt. Să se afle, aproximativ, fluxul de căldură în lungul axei determinant de schimbul de căldură prin radiație. Pereții tubului sînt „negri".

§ 42. Fenomene intranucleare și teoria relativității

I. Numărul de atomi radioactivi dezintegrați în timpul Δt este direct proporțional cu numărul de atomi intacți la momentul inițial și cu timpul $\Delta n = -\lambda n \Delta t = -\frac{\ln 2}{T} n \Delta t$ (λ — constanta de dezintegrare, T — perioada de înjumătățire).

II. La echilibrul radioactiv : $\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$.

III. Un curie (unitatea de activitate radioactivă) reprezintă activitatea unui preparat radioactiv în care se produc $3{,}7 \cdot 10^{10}$ dezintegrări pe secundă.

IV. Variația energiei corespunzătoare unei variații Δm a masei este $\Delta W = c^2 \Delta m$ (c — viteza luminii).

○ 42.1. Cîte dezintegrări α și cîte dezintegrări β se produc la transmutația $^{238}_{92}U$ în $^{206}_{82}Pb$?

○ 42.2. După cît timp se dezintegrează un atom din 10^7 atomi de actiniu ?

△ 42.3. Să se calculeze durata medie de viață τ a unui atom de radiu.

△ 42.4. O granulă care conține radiu se află la distanța de 1,2 cm de un ecran fluorescent. Ce cantitate de radiu conține granula dacă într-un minut se văd 47 scintilații pe o suprafață de 0,02 cm^2 a ecranului? Produsele de dezintegrare ale radiului sînt absorbite rapid prin pompare. Se consideră că toate particulele α apărute prin dezintegrare sînt expulzate de granulă.

△ 42.5. Natriul $^{23}_{11}Na$ iradiat cu deutroni trece în izotopul radioactiv $^{24}_{11}Na$ cu $T_{1/2} = 15{,}5$ ore. Ce fracțiune din masa inițială de radionatriu rămîne după 24 ore de la încetarea bombardamentului cu deutroni ?

○ 42.6. Să se afle raportul maselor de radiu și de uraniu în minereuri.

△ 42.7. Cunoscînd din figura 42.7 schema de dezintegrare a Ra în RaD să se afle cîte particule α sînt emise într-o secundă de un amestec de 1 mg radiu și de toți descendenții săi, la echilibrul radioactiv.

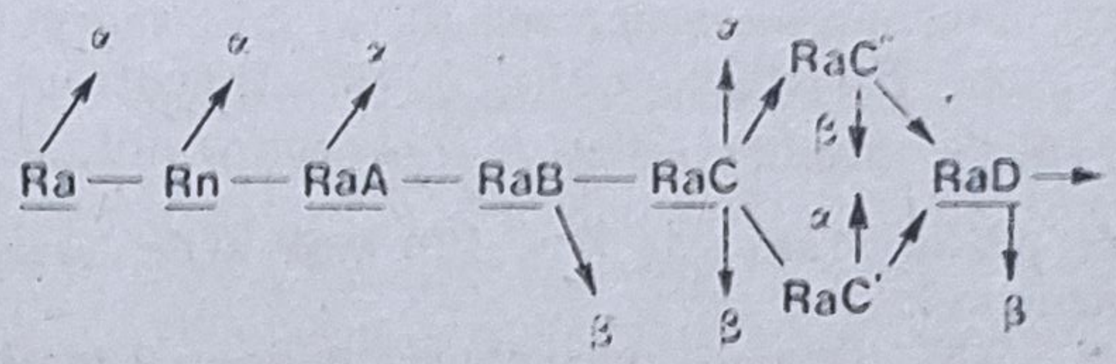


Fig. 42.7.

△ 42.8. Să se afle volumul radonului cu activitatea 1 Ci, în condții normale.

△ 42.9. Măsurătorile arată că 1 m Ci radon produce un curent de saturație (datorit ionilor) de 0,92 μA. Cîți ioni produce în aer fiecare particulă α emisă de radon ?

○ 42.10. Să se afle energia corespunzătoare masei de rapus a electronului.

○ 42.11. Să se afle energia de legătură : a) a deutronului ; b) a unei particule α.

△ 42.12. La bombardarea litiului cu protoni cu energia de 1 MeV apar două particule α. Să se afle viteza lor dacă direcțiile lor de mișcare formează unghiuri egale cu direcția de mișcare a protonului.

□ 42.13. O țintă care conține deuteriu (de exemplu „gheață grea") este bombardată cu deutroni. În urma ciocnirii dintre doi nuclei se formează un nucleu de He și un neutron. Care este energia neutronului (E_2) dacă energia deutronului înainte de ciocnire este $E_1 = 0{,}6$ MeV, iar viteza neutronului este perpendiculară pe viteza deutronului incident ?

□ 42.14. Să se calculeze, cu aproximație, energia eliberată la fisiunea unui nucleu de $^{235}_{92}U$ din care rezultă un nucleu de $^{85}_{37}Rb$ și un nucleu de $^{133}_{55}Cs$. Dacă energia medie eliberată într-un proces de fisiune a uraniului este de 200 MeV, să se calculeze ce cantitate de cărbune cu puterea calorică de 29,3 MJ/kg eliberează prin ardere aceeași energie ca fisiunea unui kg de uraniu.

○ 42.15. Să se afle energia dezintegrării $^{236}U \rightarrow {}^{132}M + {}^{102}M + 2n$ dacă energia de legătură pe nucleon este 6,5 MeV pentru uraniu și 7,5 MeV pentru elementele mijlocii M.

○ 42.16. Să se afle doza de radiație la absorbția energiei radiației γ a ^{60}Co (energia unei cuante este 1,3 MeV) într-un volum conținînd $M = 70$ kg de

substanță. Timpul de iradiere este $t = 24$ h, iar activitatea radiației absorbite $A = 100$ mCi.

□ 42.17. Să se afle energia dezintegrării: $^{13}N \to {}^{13}C + e_+ + \nu$. Indicație: energiile interacțiunii nucleare în aceste nuclee se consideră egale. Toate variațiile energiei de legătură sînt condiționate de diferența energiilor interacțiunii coulombiene.

○ 42.18. Să se calculeze durata medie de viață a neutronului în gazul BH_3. Presiunea este normală. Conținutul izotopului B în amestecul natural de izotopi este $q = 18{,}7\%$. Secțiunea de absorbție a neutronului $\sigma = \frac{A}{v}$ unde $A = 2 \cdot 10^{-25}$ m^3 s^{-1}. Durata medie de viață a neutronului liber este $\tau_n = 10^3$ s.

○ 42.19. Masa critică a unui aliaj care conține $^{235}_{92}U$ la temperatura de 15°C este 150 kg. (Se consideră o sferă situată departe de pereții camerei.) Coeficientul de dilatație liniară este $\alpha = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1}. Cu cît este egală masa critică la 25°C?

○ 42.20. Un reactor cu impulsuri pentru generare de neutroni neîncetiniți prin fisiune conține 2 mase de ^{239}Pu avînd în total $M = 8$ kg. Aceste mase se aduc în apropiere, iar reacția în lanț începe datorită dilatației cînd temperatura ^{239}Pu crește cu $\Delta t = 50$°C. Cîți neutroni produce reactorul la un impuls? Căldura specifică a ^{239}Pu este $c = 10^2 \frac{J}{kg\ grd}$. Energia cinetică a produselor de dezintegrare este $E = 170$ MeV și la fiecare fisiune se eliberează $\nu = 3$ neutroni.

△ 42.21. Două avioane zboară la aceeași înălțime și cu aceeași viteză, ocolind Pămîntul de-a lungul Ecuatorului, plecînd din același punct, în sensuri opuse. Care este diferența de timp înregistrată de două ceasuri de mare precizie, aflate la bordul avioanelor, la capătul zborului?

□ 42.22. Să se afle viteza finală a unei rachete dacă viteza de evacuare a gazelor este c. Masa inițială este M_0, iar masa finală M_1. Viteza inițială este nulă.

□ 42.23. Un foton cu energia E este captat de un proton cu apariția unui proton și unui antiproton: $p + \gamma \to p + p + p$. Să se afle pragul acestei reacții.

RASPUNSURI

1.1. d) $4\ \frac{m}{s}$ și $5{,}4\ \frac{m}{s}$.

1.3. 150 m.

1.5. De la 0 la 3,3 m — accelerată, de la 3,3 m la 9 m — uniformă în continuare încetinită

1.6. b) Suprafața limitată de curbă și axa absciselor este egală cu jumătate din diferența pătratelor vitezelor corespunzătoare momentelor inițial și final ale mișcării. c) Vitezele inițială și finală sînt egale.

1.7. Nu.

1.8. a) Notăm cu α unghiul dintre direcția în care se vede automobilul și direcția de deplasare a omului. Omul parcurge distanța pînă la un punct oarecare al drumului în τ_2s iar automobilul în τ_1s. Din figura 1.8 — R se observă că $\sin\alpha = \frac{hv_1\tau_1}{bv_2\tau_2}$. Din condiția $\tau_1 > \tau_2$ rezultă că $\sin\alpha \geqslant \frac{hv_1}{bv_2}$. Prin urmare $56{,}5° < \alpha < 123{,}5°$.

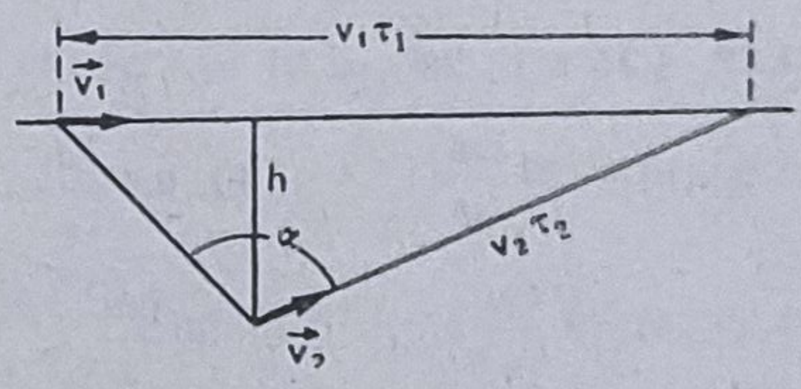


Fig. 1.8. — R

b) $2{,}5\ \frac{m}{s}$

1.9. S-a micșorat.

1.10. $+0{,}83\ \frac{m}{s^2}$ și $-0{,}83\ \frac{m}{s^2}$

1.11. $\tau_n = \tau_1(\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) = 0{,}8$ s

1.12. $-0{,}25\ \frac{m}{s^2}$

1.13. $0{,}45\ \frac{m}{s}$; $-0{,}3\ \frac{m}{s^2}$

1.14. Fie s spațiul parcurs în timpul t de pata de lumină

$s = R_0 \operatorname{tg} 2\pi nt$; $v = \frac{ds}{dt} = \frac{R_0 \cdot 2\pi n}{\cos^2 2\pi nt} = 10{,}4\ \frac{m}{s}$

1.15. De 12 ori.

1.16. $v_C = v\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha}$; pentru $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$; pentru $\beta = 0$

1.17. $225\frac{km}{h}$; 4,4° față de meridian.

1.18. a) și b) $v_2 > v_1$. c) Contrar cursului apei sub unghiul de 60°. d) Prima deplasare presupune un timp mai lung cu 2,14 min. e) Pentru $v_2 = \frac{nv_1}{\sqrt{n^2-1}} = 2{,}9\frac{km}{h}$

1.19. Punct, dreaptă, cerc, spirala lui Arhimede.

1.20. $0{,}25\frac{m}{s^2}$; $0{,}32\frac{m}{s^2}$

1.21. $18{,}3\frac{m}{s^2}$; $16{,}7\frac{m}{s^2}$; $15\frac{m}{s^2}$

1.22. $\omega = 6{,}5\ s^{-1}$

1.23. a) Pe cerc vor apărea 4 sectoare nemișcate, întunecate având fiecare cca. 67°. b) Sectoarele se vor vedea mișcîndu-se în sens contrar rotației discului cu o frecvență $n = 0{,}5\ s^{-1}$.

1.24. a) Vertical în jos. b) Perpendicular pe axă.

1.25. $-5{,}24\ s^{-2}$; 375

1.26. După 10 s

1.27. $1{,}4\frac{m}{s}$ și $-0{,}2\frac{m}{s}$

1.28. $4{,}25\ s^{-1}$; 28°

1.29. a) $-29\frac{cm}{s^2}$; b) $9{,}6\frac{cm}{s}$; c) $-17\frac{cm}{s^2}$.

1.30 a) $40\frac{cm}{s}$; b) $30\frac{cm}{s}$; c) $60\frac{cm}{s}$ d) $63\frac{cm}{s}$.

1.31. $4{,}7\frac{cm}{s^2}$

1.32. Raza roții trebuie să fie mult mai mică decît lungimea bielei.

1.33. Execută o oscilație armonică în direcția axei balansierului.

1.34. a) 84,3° ; b) $90\frac{cm}{s}$

1.35. 0,06 s

1.36. Se vor observa bătăi cu frecvența de 0,5 s^{-1} și amplitudinea de 0,2 mm.

1.37. 8 Hz și 10 Hz ; 1 cm.

2.1. a) 20,4 m b) $1{,}4\cdot10^{-7}$ cm.

2.2. b) $g = 9{,}87\frac{m}{s^2}$

2.3. 120 Hz

2.4. $t = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2gn}}{g}$. Semnul + corespunde urcării iar semnul − coborîrii. a) $t_1 = 0{,}98$ s; $t_2 = 2{,}1$ s ; b) nu va fi.

2.5. 20,6 cm

2.6. a) În jos cu viteza de 12,4 $\frac{m}{s}$; b) În sus cu viteza de 8,5 $\frac{m}{s}$.

2.7. a) $t = \frac{2v_0 - g\tau}{2g} = 2{,}25$ s; $h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g\tau^2}{8} = 30{,}3$ m.

2.9. $v_0 = s\sqrt{\frac{g}{2h}} \approx 11 \frac{m}{s}$; $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \approx 12{,}6 \frac{m}{s}$.

2.10. Da

2.11. 3 m

2.12. De 20 ori

2.13. 76°

2.14. a) Viteza minimă la distanța dată corespunde unghiului optim de aruncare $\alpha = 45°$ și este egală cu 22,83 $\frac{m}{s}$; b) La ecuator pentru această viteză inițială și $\alpha = 45°$ s-ar fi obținut distanța de 53,3 m; c) Trebuie indicate: 1) înălțimea de la care este aruncat discul; 2) valoarea exactă a lui g la locul aruncării; 3) unghiul de aruncare.

2.15. Volumul apei este $V = Sl\sqrt{\frac{sg}{\sin 2\alpha}} = 69$ l.

2.16. O dreaptă verticală.

2.17. a) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0 \sin \alpha_0 - gl}{v_0 \cos \alpha_0}$; $\alpha_1 = 14{,}7°$; $\alpha_2 = -35{,}7°$; b) $h = 10$ m.

2.19. 63°26′ și 26°34′.

2.20. $v_0 = \frac{s}{2\cos\alpha}\sqrt{\frac{2g}{s \operatorname{tg}\alpha + h}} = 19{,}8 \frac{m}{s}$; $\tau = \sqrt{\frac{2(h + s \operatorname{tg} \alpha)}{g}} = 3$ s;

$$h_{max} = \frac{(2h + s \operatorname{tg}\alpha)^2}{4(h + s \operatorname{tg} \alpha)} = 12{,}1 \text{ m}.$$

2.21. $s = 8\ h \sin \alpha = 96$ cm

2.22. $R_1 = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g} = 10{,}2$ m; $R_2 = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} = 82$ m

3.1. a) $F = 5\,000$ N; $t = 4 \cdot 10^{-4}$ s. b) Glontele va străbate scîndura și va ieși cu viteza de 141 $\frac{m}{s}$; 0,59 $\frac{kg \cdot m}{s}$

3.2. 7,7 m.

3.3. Pe porțiunile inferioare la ascensiune și coborîre 10,299 N; pe porțiunea mijlocie 9,8 N; în porțiunile superioare 9,300 N.

3.4. $h_1 = h_2 \frac{2n}{n+1} = 40$ cm.

3.5. a) 47 $\frac{cm}{s^2}$; b) 4,2 m

3.6. a) $F = g \frac{m_1 m_2 (1 + \mu)}{m_1 + m_2} = 1{,}47$ N; b nu se modifică; c) 2,08 N.

3.7. a) Nu ; b) $\frac{(nm_1 - \mu m_2)(m_1 + m_2)}{(nm_1 + m_2)(m_1 - \mu m_2)} = 3{,}54$; c) 0,031.

3.8. $a = g\frac{2(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2}$; a) 0,4 g ; b) 0 ; c) $-2\ g$; d) g.

3.11. a) $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{1}{\mu}$; $\alpha_0 = 45°$; 52° ; b) $\mu = 0{,}27$.

3.12. $\mu = \operatorname{tg}\alpha\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} = 0{,}1$.

3.13. $a_1 = g\left[\sin\alpha - \mu_1\cos\alpha + \frac{m_2}{m_1}(\mu_2 - \mu_1)\cos\alpha\right]$; $a_2 = g(\sin\alpha - \mu_2\cos\alpha)$; a) $a_1 = a_2$.
b) $a_1 < a_2$; c) și d) $a_1 = a_2$; e) $a_1 = 0$; $a_2 \neq 0$

3.14. 420 N.

3.15. Trăgînd apa în cavitate caracatița primește impulsuri egale și de sens contrar și de aceea rămîne pe loc. Eliminînd apa, caracatița îi imprimă un anumit impuls și se mișcă accelerat în sens opus.

3.16. Trebuie considerată mișcarea corzii împreună cu mișcarea corpului instrumentului pe care se află.

3.17. Cel din stînga va străbate o distanță de 9 ori mai mare.

3.18. Presupunem că din momentul lansării rachetei a trecut un timp t. În intervalul de la t la $t + dt$ se elimină o masă de gaz μdt. De aici $\mu dtv_1 = -(m - \mu t)\,dv$; $t = \frac{m}{\mu}\left(1 - e^{-\frac{v}{v_1}}\right)$.
a) Observînd că v și v_1 au sensuri opuse, obținem $t = 0{,}375$ s. b) Punînd $\mu t = m_0$ avem $v = v_1 \ln\frac{m}{m - m_0}$ (Formula lui Țiolkovski) ; $v = 330\frac{\text{m}}{\text{s}}$

3.19. a) Centrul bilei 3. b) Dacă axa X este îndreptată în direcția 4 — 3 iar axa Y în direcția 4 — 1, atunci $x_0 = 5$ cm ; $y_0 = 3$ cm. c) Dacă axa X este îndreptată în direcția 4 — 1, axa Y în direcția 4 — 3, iar axa Z în direcția 4 — 2, atunci $x_0 = 1$ cm, $y_0 = 3$ cm, $z_0 = 2$ cm.

3.20. a) Pe axa comună a celor doi cilindri la distanța de 9,3 cm de baza inferioară ; b) la distanța de 10,6 cm

3.21. Centrul de masă se află la distanța de 0,56 dm de centrul discului.

3.22. 19,5°

3.24. 7,5 m.

3.25. a) $a = g\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = 109\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$; b) $47\frac{\text{cm}}{\text{s}}$

3.26. a) 20 cm ; b) 20 cm ; c) 20 cm și 0 ; d) la stînga ; forța rezultantă este nulă.

3.27. 20 cm

3.28. a) $5 \cdot 10^4$ kJ ; b) $-16 \cdot 10^4$ kJ

3.29. 9 000 kW ; 2 500 kW

3.30. a) $0{,}176\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $0{,}026\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; b) $66\frac{\text{km}}{\text{h}}$

3.31. 24,5 kW

3.32. $v_0 = 2 \cos \alpha \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2}$. Unghiul α fiind mic $v_0 = 4{,}2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

3.33. $\mu = \frac{2s}{gt^2} = 0{,}02$. $P = \frac{4\ ms^2}{t^3} = 46$ W.

3.34. 3,5 J

3.35. $L = \frac{m}{2}\left(\frac{g^2t^2}{4} + \frac{s^2}{t^2}\right) = 5{,}2$ J

3.38. a) $\left(\frac{n+1}{n-1}\right)^2 = 1{,}4$; b) $\frac{n+1}{n-1} = 1{,}2$; c) De 9 ori și de 3 ori.

3.39. Lucrul mecanic de comprimare este : $E - E_1 = \frac{m_1 m_2}{2(m_1+m_2)}(v_1 - v_2)^2$ unde $v_1 - v_2$ este viteza relativă de mișcare a sferelor.

3.40. 93%

3.41. a) $h_1 = l\frac{4m_2^2}{(m_1+m_2)^2} = 16$ cm ; $h_2 = l\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 = 36$ cm ; b) sfera mai mare se va ridica la 36 cm, cea mai mică va face o rotație completă ; c) 3 : 1.

3.42. $-\frac{v}{5}$; $\frac{2\sqrt{3}}{5}v$

3.45. a) $126 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ și $63 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$; b) 60 cm

3.46. Inițial cisterna se mișcă la dreapta întrucît apa în cisternă se scurge spre stînga; impulsul total al apei în cisternă precum și impulsul cisternei trebuie să fie egal cu zero. Apa care se scurge posedă un impuls orientat spre dreapta. De aceea cisterna capătă un impuls orientat spre stînga. Această viteză rămîne și în momentul cînd toată apa se va scurge și va rămîne constantă. Acest răspuns calitativ poate fi justificat prin calcul. Notăm masa cisternei cu M_0 și viteza sa cu v_0. Fie $M(t)$ masa apei în cisternă și v viteza medie de mișcare a apei în cisternă, în raport cu cisterna. Deplasarea tubului față de centrul de greutate este $l(l < 0)$. Se poate scrie $v = -\frac{l}{M} \cdot \frac{\text{d}M}{\text{d}t}$. Legea conservării impulsului are în acest caz aspectul : $M_0 \frac{dv_0}{\text{d}t} + \frac{\text{d}}{\text{d}t}[M(v_0 + v)] - v_0 \frac{\text{d}M}{\text{d}t} = 0$. De aici $v_0 = l\int_0 \frac{\text{d}t}{M + M_0} \frac{\text{d}^2 M}{\text{d}t^2}$. v_0 se modifică după cum s-a arătat mai sus. În particular, întrucît, $\int_0^\infty \text{d}t \frac{\text{d}^2 M}{\text{d}t^2} = 0$ și $\frac{1}{M + M_0}$ crește monoton $\frac{v_0(\infty)}{l} > 0$.

4.1. a) 0,49 N ; b) 6,37 N

4.2. a) $9{,}814 \cdot 10^{-3}$ N ; b) $\approx 6{,}4 \cdot 10^{-3}$ N

4.3. $x = \frac{lR_2^3}{R_1^3 + R_2^3} = 2{,}4$ cm ; $\Delta x = \frac{kg}{\omega^2} = 0{,}12$ cm.

4.4. $h = \frac{R}{3}$

4.5. a) $h_1 = \frac{2h+R}{3}$; b) $h \geqslant 2{,}5\ R$

4.6. 0,29 N

4.7. a) Se obține o curbă spațială. b) Pentru rezolvare trebuie aflată suma vectorială a forțelor care acționează asupra diferitelor părți ale uneia din jumătățile lănțișorului. Această sumă este egală cu dublul forței căutate. $F = mn^2l = 4{,}8$ N.

4.8. 550 Torr

4.9. a) $F = 2mg\cos^2\alpha$; b) $F = 2mg(3 - 2\cos\alpha)$; c) $F = 2mg$

4.10. $\operatorname{tg}\alpha = \sqrt{2}$; $\alpha = 54{,}7°$

4.11. $\cos\alpha = \dfrac{g}{4\pi^2n^2l}$; $\alpha = 78{,}6°$

4.12. a) $v = \sqrt{Rg\mu}\ 19 = \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $\operatorname{tg}\alpha = \mu$; $\alpha = 21{,}8°$

4.13. a) $v = \sqrt{\dfrac{(0{,}5d - h)g}{\mu}} = 14\dfrac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $\alpha = 11°$.

4.14. $n = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g}{h}} = 0{,}4\ \text{s}^{-1}$.

4.15. $0{,}96\ \text{s}^{-1}$

4.16. ≈ 41 N

4.17. 7 620 N și 9 380 N

4.18. a) $5\cdot10^3$ g cm^2; b) $2\cdot10^3$ g cm^2; c) $1\cdot10^3$ gcm^2; d) $2\cdot10^3$ gcm^2.

4.19. a) ma^2; b) $ma^2(1 + \sin^2\beta)$ (β — unghiul axei cu planul).

4.20. a) 689 gcm^2; b) 414 gcm^2 8; c) 275 gcm^2.

4.21. Zero și $2{,}26\cdot10^5$ gcm^2 s^{-1}.

4.22. a) Momentul forței F_1 în punctul de contact al roții pe șine în raport cu axa roții este $M_1 = F_1r$ și momentul forței de frecare de rostogolire în punctul de tangență este $M_2 = kPr$. La mișcarea accelerată a roții, primul din aceste momente crește cu cantitatea arI unde a este accelerația liniară, I este momentul de inerție al roții. $M_1 = \dfrac{aI}{r} + kPr$, $F_1 = -\dfrac{aI}{r^2} - kP$.

Forța aplicată pe axă este $F_0 = -F_1 + ma$, unde m este masa roții, $F_0 = ma + \dfrac{aI}{r^2} + kP$;

b) Aceleași momente; întrucît $F_0 = 0$ atunci $a = -\dfrac{kP}{m + \dfrac{I}{r^2}}$.

4.23. a) $g\sin\alpha$; b) $0{,}67\ g\sin\alpha$; c) $1{,}14\ g\sin\alpha$.

4.24. $a = 5\ g\sin\alpha\dfrac{4r^2 - d^2}{28r^2 - 5d^2} = 49{,}7\dfrac{\text{cm}}{\text{s}^2}$.

4.25. a) Să aplicăm în punctul C două forțe egale și de sens contrar $F_1 = F_2 = F$ (vezi figura 4.25 — R). Forța F_1 produce o mișcare de translație a vergelei cu accelerația $a = \dfrac{F}{m}$. Cuplul forțelor F și F_2 produce o rotație cu accelerația unghiulară $\varepsilon = \dfrac{F\cdot S_1}{J_C}$ în jurul axei

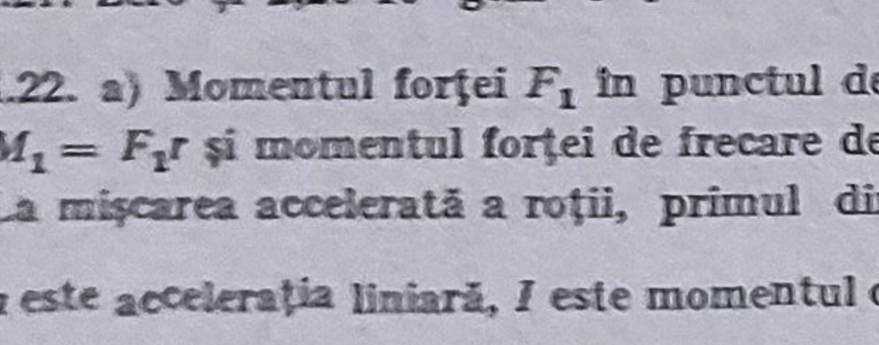


Fig. 4.25 — R

care trece prin centrul de masă C. Din cauza rotației vergelei punctul O se va mișca cu accelerația liniară $\varepsilon s_2 = \frac{Fs_1s_2}{Jc}$. Dacă punctul O se află în repaus, atunci $\frac{Fs_1s_2}{Jc} = \frac{F}{m}$ de unde $s_1s_2 = \frac{Jc}{m}$; b) se va roti în jurul punctului A; c) $s_2 = \frac{l}{6}$ unde l este lungimea vergelei.

4.26. 25 W.

4.27. 22,2 kJ.

4.28. a) $v = \sqrt{3gh} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; b) punctul care se află la o înălțime egală cu $\frac{2}{3}$ din înălțimea stîlpului.

4.29. a) $F = \frac{m(g-a)}{2}$ unde a este accelerația cu care coboară roata $a = \varepsilon r = \frac{m(g-a)r}{J} \cdot r$. De aici $a = \frac{mgr^2}{mr^2+J}$; $F = \frac{mgJ}{2(mr^2+J)} = 4{,}85$ N; b) la ridicare tensiunea în fir va fi aceeași; c) 4,90 N.

4.30. Axa cilindrului se va mișca cu accelerația $a_1 = g \frac{2\sin^2\alpha}{1+3\sin\alpha} = 1{,}96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Corpul se va mișca cu accelerația $a_2 = 3{,}92 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

4.31. a) $\varepsilon = g \frac{2(m_1-m_2)}{l(m_1+m_2)}$, $F = \frac{4m_1m_2}{m_1+m_2} g$; b) $\omega = 2\sqrt{\frac{(m_1-m_2)g}{(m_1+m_2)l}}$, $F = g \frac{3(m_1^2+m_2^2)-2m_1m_2}{m_1+m_2}$.

4.32. a) $\omega = \frac{6m_1v}{(m+3m_1)l} = 29 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$; b) energia cinetică a vergelei în care a pătruns glontele este $\frac{3m_1}{m+3m_1}$ din energia inițială a sistemului, adică 3%.

4.33. a) Suma energiilor cinetice ale discului și greutăților se micșorează cu valoarea lucrului mecanic efectuat; b) suma impulsurilor discului și greutăților este nulă în orice moment: c) momentul impulsului discului se micșorează, iar momentul impulsului greutăților crește cu aceeași valoare.

4.34. $L = \pi^2 m (l_1^2 - l_2^2) n_1 n_2 = 48$ J.

4.35. a) $\omega = \frac{J_1w_1 + J_2w_2}{J_1+J_2}$; b) energia se micșorează cu valoarea $\frac{J_1J_2}{J_1+J_2} \cdot \frac{(\omega_1-\omega_2)^2}{2}$.

4.36. a) Sistemul format din cele două discuri A și B nu este izolat și de aceea nu i se aplică legea conservării momentului cinetic; b) centrele de masă ale halterelor se mișcă cu viteze antiparalele. De aceea sistemul celor două haltere posedă momentul cinetic $2m \cdot d \cdot 2v$ (unde $2m$ este masa halterelor, d — distanța dintre direcțiile vectorilor viteză ale centrelor de masă ale halterelor, $2v$ — viteza relativă a halterelor). După ciocnire viteza centrului de masă a fiecărei haltere este nulă. De aceea, fiecare halteră are momentul cinetic $2m \cdot d \cdot v$. Suma momentelor cinetice ale ambelor haltere este $4m \cdot d \cdot v$, adică este egală cu momentul cinetic al sistemului înainte de ciocnire.

4.37. a) Momentul cinetic al vergelei înainte de rupere este $\frac{1}{12}$ K unde $K = ml^2\omega$ (m — masa vergelei; l — lungimea ei, ω — viteza unghiulară). După rupere, fiecare jumătate continuă

să se rotească cu aceeași viteză unghiulară. Suma momentelor cinetice ale ambelor jumătăți este $\frac{1}{48}$ K. În afară de aceasta centrele de masă ale jumătăților se mișcă cu viteze antiparalele, astfel încît sistemul are momentul cinetic $\frac{1}{16}$ K. Se observă că $\frac{1}{48}K + \frac{1}{16}K = \frac{1}{12}K$.

b) Energia cinetică a vergelei înainte de rupere este $\frac{1}{24}$ W unde $W = ml^2\omega^2$. După rupere, energia de rotație a jumătăților este $\frac{1}{96}$ W iar energia mișcării de translație este $\frac{1}{32}$ W. Se verifică egalitatea $\frac{1}{96}W + \frac{1}{32}W = \frac{1}{24}W$.

4.38. a) 0,75 mv^2; b) 0,7 mv^2; c) 1,25 mv^2.

4.39. 1,3 cm.

4.40. $a = \frac{k'g}{1 + \frac{I}{mr^2}}$, de aici $k' = 0{,}05$.

4.41. $a < kg$

4.42. Pentru $\operatorname{tg}\alpha < 3{,}5\,\mu - 2{,}5\frac{k'}{r}$; $\alpha < 38°$

4.43. $0{,}73\frac{\text{cm}}{\text{s}}$; 12 s^{-1}.

4.44. 1 000 kJ.

4.45. $h = 1{,}7(R - r)$.

4.46. 0,63 N.

4.47. 1,67 kN.

4.48. a) Considerăm că distanța de la centrul de masă al omului pînă la dușumea este mică (figura 4.48 — R). În acest caz, înălțimea centrului de masă față de nivelul dușumelei, în mijloc, este $y = \frac{x^2}{2p}$ unde p este semiparametrul parabolei, iar x este distanța omului față de axă. Dacă viteza unghiulară $\omega = \sqrt{\frac{g}{p}}$ atunci $m\omega^2 x = mg \operatorname{tg}\beta$ ceea ce arată că forța care acționează asupra omului este perpendiculară pe suprafața de sprijin. b) Prin îndepărtarea omului de axa de rotație la distanța x energia sistemului crește cu valoarea $\Delta E = \frac{mv^2}{2} + mgy$. Dar $v = \omega x$ și $v^2 = \frac{gx^2}{p} = 2gy$. Rezultă $\Delta E = 2mgy$. c) În timpul mișcării omului în raport cu axa de rotație, motorul care rotește încăperea dezvoltă o putere mai mare decît atunci cînd omul stă în repaus. Dacă omul se deplasează pe dușumea cu viteza $\frac{ds}{dt}$ acționează forța Coriolis $2m\omega\frac{ds}{dt}\sin\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = 2m\omega\frac{ds}{dt}$. Puterea suplimentară furnizată de motor este $2m\omega^2 x\frac{dx}{dt}$. În timpul dt motorul efectuează lucrul mecanic suplimentar $2m\omega^2 x\,dx$ iar prin

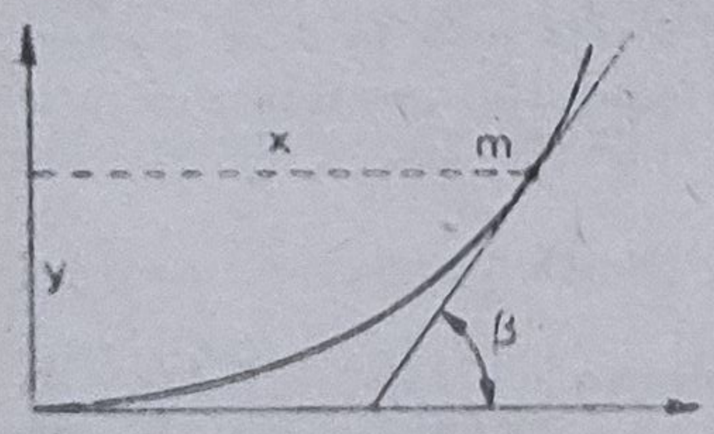


Fig. 4.48. — R

integrare $m\omega^2x^2 = 2mgy$. Astfel, variația energiei sistemului se produce pe seama lucrului mecanic suplimentar efectuat de motor.

4.49. Nu.

4.50. $a = -\dfrac{kP}{m + \dfrac{I}{r^2}}$. Vezi răspunsul la problema 4.22.

$$a = -\frac{kg}{2} = -4{,}9 \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

4.51. $F = \dfrac{P(k_1 + k_2)}{2} = 150\ \text{N}$

5.1. $5{,}9 \cdot 10^{-6}$ N

5.2. Nu

5.3. a) Nu ; b) 1,23%

5.4. $2{,}34 \cdot 10^{-3}$ N

5.5. Sferele se atrag dacă a) $\rho_1 > \rho_0$ și $\rho_2 > \rho_0$; b) $\rho_1 < \rho_0$ și $\rho_2 < \rho_0$. Sferele se resping dacă $\rho_1 > \rho_0 > \rho_2$ sau $\rho_1 < \rho_0 < \rho_2$.

5.6. a) $F = \dfrac{km_1m_2}{a(a + l)}$; b) se micșorează de 1,33 ori.

5.7. $\simeq 120$ N

5.8. Vezi figura 5.8—R ; a) x-uri ; b) cerculeţe.

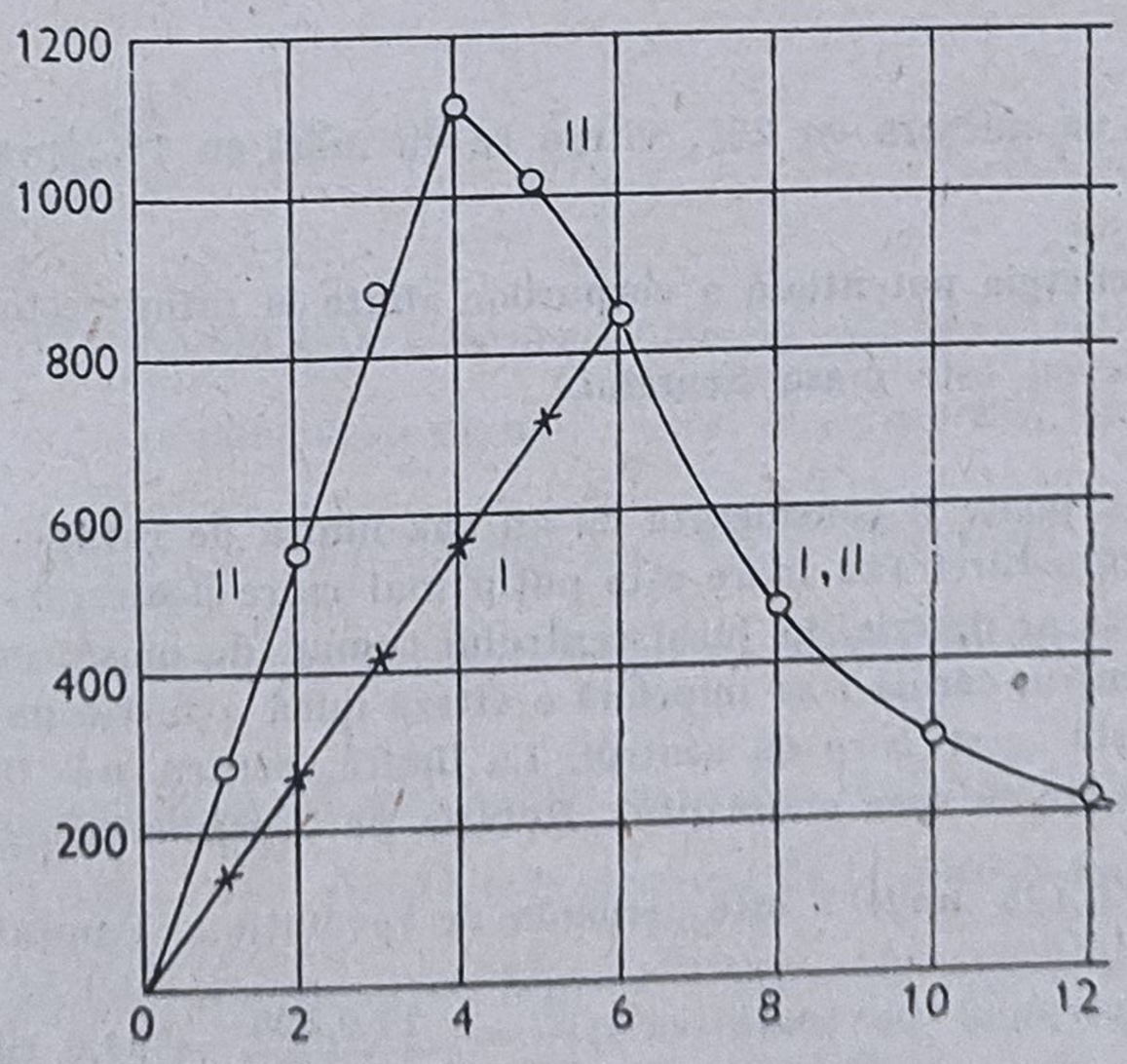


Fig. 5.8—R

5.9. $\dfrac{4}{3}\ k\pi\rho l$.

5.10. a) Dacă densitatea medie a vaporului $\bar{\rho}$ este mult mai mică decît densitatea apei, aproape tot vaporul se află în afara apei, astfel că, intensitatea medie a cîmpului gravitațional care acționează asupra vaporului este mai mică decît intensitatea care acționează asu-

pra apei de $\frac{R^3}{(R+h)^3} \approx 1 - \frac{2h}{R}$ ori unde R este raza Pămîntului. Masa vaporului este mai mare decît masa apei dezlocuite cu $\Delta m = m\frac{2h}{R} = 16$ kg. În general Δm poate fi de cîteva ori mai mică. b) În același caz limită $\overline{\rho}_{apă} \gg \overline{\rho}$ forța rezultantă este nulă așa încît distanța între centrele de masă ale vapoarelor este mai mare decît distanța între centrele de masă ale apei dezlocuite de $\frac{R+h}{R}$ ori.

5.11. 38 400 km de centrul Lunii.

5.12. $\simeq$ 600 km; $7{,}7\frac{\text{km}}{\text{s}}$; $2{,}5 \cdot 10^6$ kJ.

5.13. $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} = 0{,}85$

5.14. Forța de atracție a masei m_1 aflată la distanța x de centrul Lunii este egală cu $\frac{km_1m_2}{x^2}$ unde m este masa Lunii. Lucrul mecanic al forței greutății pe distanța dx este $dL = \frac{km_1m_2}{x^2}dx$ iar de la infinit pînă la suprafața Lunii este $L = \int_R^\infty \frac{km_1m_2}{x^2}dx = \frac{km_1m_2}{R} = 0{,}5\ m_1v^2$;

$$v = \sqrt{\frac{2km_2}{R}} = 2{,}38\frac{km}{s}$$

5.15. 1 600 km

5.16. Raza orbitei se va micșora cu 2%, viteza se va mări cu 1%, perioada se va micșora cu 3%.

5.17. Considerînd că energia potențială a corpurilor aflate la infinit este egală cu zero, vom găsi $W = \frac{km_1m_s}{2a}$ unde m_s este masa Soarelui.

5.18. Căderea pe Soare poate fi considerată ca un caz limită de rotație în jurul Soarelui pe o elipsă foarte alungită a cărei axă mare este puțin mai mare decît raza a a orbitei Pămîntului. O asemenea elipsă ar descrie, în jurul centrului comun de masă, un corp aflat în spațiu la distanța a de centru, căruia i se imprimă o viteză mică v într-o direcție perpendiculară pe dreapta care unește acest corp cu centrul. La limită, pentru $v = 0$ axa mare a elipsei este egală cu a (elipsa tinde spre o dreaptă). Rotația pe o asemenea elipsă necesită timpul $\tau = T\sqrt{\frac{(0{,}5\,a)^3}{a^3}} = T\sqrt{0{,}125}$ unde T este perioada de revoluție a Pămîntului în jurul Soarelui. Durata căderii corpului pe soare va fi $\frac{\tau}{2} = \frac{T\sqrt{0{,}125}}{2} = 64{,}6$ zile.

5.19. Conform legii conservării momentului impulsului $v \cdot \rho_C = v_R R$ unde R este raza pămîntului, v_R este viteza meteoritului în apropierea suprafeței pămîntului. Din legea conservării energiei rezultă $v_R^2 = v_0^2 + v^2$ unde $v_0 = 11\frac{\text{km}}{\text{s}}$ este a doua viteză cosmică. De aici $\sigma = \pi R^2\left(1 + \frac{v_0^2}{v^2}\right) = 5\pi R^2$

5.20. $\omega^2 = \frac{k}{a^3}(m_1 + m_2 + m_3)$.

6.1. a) 3,5 N; b) 0,17, N; c) 44 N sau 0,16 N.

6.2. 212 N

6.3. $F_1 = \frac{mg \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = 20$ N; $F_2 = 34$ N.

6.4. Problema este nedeterminată. În acest caz, forțele depind de modul în care sfera a fost așezată în poziția din figură.

6.5. $1{,}24 \cdot 10^4$ N

6.7. 650 N; 750 N

6.8. 83,5 cm

6.9. $F_1 = \frac{mgR}{\sqrt{l^2 - 4R^2}} = 0{,}38$ N $= F_2$; $F_3 = 0{,}29$ N.

6.10. Asupra suportului A acționează sub un unghi față de orizontală o forță de $1{,}13 \cdot 10^4$ N Asupra suportului B acționează în direcție orizontală o forță de $9{,}15 \cdot 10^3$ N.

6.11. a) 940 N; 960 N; b) 950 N; 950 N

6.12. a) 8,7 N și —2,7 N; b) 6,5 N

6.13. a) $\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{2\mu}$; $\varphi = 45°$; b) Cînd omul stă pe treapta de jos, scara nu cade. Cînd omul stă pe treptele de dincolo de mijlocul scării, ea va cădea.

6.14. a) $\cos \alpha = \frac{h}{l}\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c - \rho}}$; $\alpha = 48°$; b) $\alpha = 0$

6.15. $L = \frac{\sqrt{2}-1}{2} g \sqrt[3]{\frac{m^4}{\rho}} = 1{,}2 \cdot 10^2$ J

6.16. 1,73 J

6.17. Prin tîrire, lucrul mecanic este $L = mg\mu l$ unde m este masa lăzii și l lungimea deplasării. La răsturnări, lada se rostogolește de $n = \frac{l}{a}$ ori (a — muchia lăzii). Lucrul mecanic la o răsturnare este $mga\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2}\right) = 0{,}207\ mga$. La n răsturnări, lucrul mecanic devine $L_2 = 0{,}207\ mgl$. Lucrul mecanic la tîrîre este egal cu lucrul mecanic la răsturnare pentru $\mu = 0{,}207$.

6.18. a) Condiția de nealunecare a creionului: $\operatorname{tg} \alpha < \mu$. Condiția de revenire în poziția de echilibru este $\operatorname{tg} \alpha < \frac{d_1}{d_2}\alpha - \frac{2b}{d_2}$ unde b este distanța de la centrul de masă al celui de-al doilea creion, pînă la verticala ce trece prin axul primului creion, în poziția orizontală a celui de-al doilea. Această condiție poate avea loc numai dacă $\frac{d_1}{d_2} > 1$; b) creionul alunecă pentru $\alpha > 24°$ și se răstoarnă pentru $\alpha > 24°$. Urmează că valoarea limită a unghiului α este 24°.

7.1. 177 m

7.2. a) $4{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; b) $7{,}5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

7.4. $n = \frac{\sqrt{2\ p_m}}{\pi l \sqrt{\rho}} = 82{,}5\ s^{-1}$

7.5. Cu 0,32 cm

7.6. Cu 2,7 cm

7.7. Nu.

7.8. Cu $\frac{\pi d^3 p}{4Eb} = 1{,}06\ cm^2$

7.9. ≈ 200 m

7.10. 56,5 l

7.11. $\approx 10\%$

7.12. $\Delta d = \frac{\pi^2 d^3 \rho n^2}{E} = 3{,}3 \cdot 10^{-5}$ cm

7.13. Nu. Alungirea va fi $2\mu^2 \Delta l$

7.14. a) $\Delta V = \frac{l(1-2\mu)}{E} F = 8\ mm^3$; b) $\Delta S = \frac{4l(1-\mu)F}{Ed} = 0{,}28\ cm^2$.

7.15. 1,4 J

7.16. $5{,}5 \cdot 10^4 \frac{J}{m^3}$

7.17. $2{,}5 \cdot 10^4 \frac{J}{m^3}$

7.18. Cu 4,2 cm

7.19. $6{,}9 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$

7.22. Energia cinetică a greutății este egală cu diferența dintre variația energiei potențiale a greutății în cîmpul gravitațional mgl_1 și lucrul mecanic de întindere a firului $L = \frac{f(l_1 - l)}{2}$. Calculul forței f se face cu aproximație, înlocuind raza de curbură și viteza de mișcare a greutății cu mărimile corespunzătoare firului neîntins de lungime l, $f \approx 3\ mg$; $v \approx \sqrt{g(3l - l_1)} \simeq$ $\simeq 3{,}68 \frac{m}{s}$

7.23. 2,5°

7.24. Formula $E_p = \frac{F\Delta l}{2}$ se referă la cazul în care se aplică legea lui Hooke cînd, în particular, nu apare hysterezis.

8.1. a) 2,5 s^{-1} ; b) $a = g$

8.2. 32 N

8.3. a) $A < 10^{-4}$ cm ; b) $A = \frac{g}{\omega} \sqrt{\frac{2h}{g} - \frac{1}{\omega^2}} = 7{,}7 \cdot 10^{-3}$ cm.

8.4. 0,8 s

8.5. 11,5 s

8.6. În primul caz de 1,11 ori mai repede.

8.7. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos 0{,}5\ \varphi}{g}} = 1{,}7$ s

8.8. a) 1,419 s ; b) $T = 2\pi\sqrt[4]{\dfrac{l^2}{g^2 + a^2}} = 1{,}397$ s ; c) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g\cos\alpha}} = 1{,}44$ s.

8.9. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l(n+1)}{g(n-1)}} = 2{,}1$ s

8.10. 1,74 s

8.11. a) 0,63 s ; b) 1,5 s

8.12. a) $2\pi\sqrt{\dfrac{2l}{3g}}$; b) $0{,}211\ l : 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g\sqrt{3}}}$

8.13. 2,2%

8.14. $J = \dfrac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \cdot \dfrac{ml}{4\pi^2}(4\pi^2 l - T_2^2 g) = 1\,200$ g·cm².

8.15. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{2S\rho g}} = 0{,}77$ s

8.16. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{1{,}4(R-r)}{g}}$ unde R este raza vasului, iar r raza bilei

8.17. $\tau = \dfrac{1}{4}\sqrt{\dfrac{3\pi}{k\rho}} = 21$ min

8.18. a) $T = 2\pi\dfrac{1}{\sqrt{\rho\left(\dfrac{1}{J_1} + \dfrac{1}{J_2}\right)}}$; b) perioada oscilațiilor se va mări de $\sqrt{\dfrac{J_1 + J_2}{J_2}}$ ori.

8.19. 1,55 s.

8.20. a) Oscilațiile sferei sînt sinusoidale pentru valori mici ale lui h ; b) $A > \dfrac{mgl}{ES} = 0{,}12$ cm ;

c) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml}{ES}} = 0{,}07$ s.

8.21. Prin deplasarea vergelei într-o parte, forța de frecare rezultantă este orientată invers deplasării x a centrului de greutate în raport cu mijlocul distanței dintre scripeți și are valoarea $F = -\dfrac{2mg\mu x}{d}$ de aici rezultă $T = \pi\sqrt{\dfrac{2d}{\mu g}} = 0{,}9$ s.

8.22. 21 s

8.23. $n_0 = \dfrac{n_1 n_3 - n_2^2}{n_1 + n_3 - 2n_2^2} = 10{,}4$

8.24. 0,014

8.25. $t = \dfrac{\ln\sqrt{n}}{0\nu} = 14$ s

8.26. 2 m.

8.27. a) 1,5%; b) $\omega t = \frac{\varphi}{s} = \frac{2\pi}{\ln S_0}$; $\omega t = 80°3'$; c) $\omega t = 160°10'$.

8.28. a) Nu; b) da; c) în cazurile b) în jurul a 19 și 1 (decrementul 19 nu are sens fizic)

8.29. 2) $\frac{m}{s}$

8.30. $v = \sqrt{v_1 v_2} = 265$ m/s

8.31. $v = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{2}} = 265$ m/s

8.32. $\alpha = \frac{\pi \Delta \nu}{\sqrt{3}} = 36\ s^{-1}$

8.33. $s = \frac{s_0}{2}\left(\frac{2\pi}{\theta} + \frac{\theta}{2\pi}\right)$; pentru $\theta < 1$ [se poate considera că, $s = \frac{\pi s_0}{\theta}$ de unde, $\theta = \frac{\pi s_0}{s} = 0{,}4$.

8.34. Conform cu 8.VIII se găsește coeficientul de amortizare al oscilațiilor corzi $\delta = \frac{v^2 - v_0^2}{4\sqrt{n-1}\,\pi v_0}$ unde n este raportul puterilor pentru v_0 și v. De aici $\tau = 43$ s.

8.35. 170 J.

8.36. $T = 4\sqrt{\frac{l}{g}}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{2\cos x}} = 4\sqrt{\frac{l}{g}}\int_0^1 \frac{du}{\sqrt{2(u-u^3)}}$. Făcînd aproximația $2(u-u^3) \simeq$ $\simeq 3(u-u^3)$. (Coeficientul este ales astfel încît, $\int_0^1 2(u-u^3)du = \int_0^1 3(u-u^3)\,du$), avem $T \simeq \frac{4\pi}{3}\sqrt{\frac{l}{g}}$ adică, este mai mare cu 15% decît perioada micilor oscilații.

9.1. a) 242 cm/s; b) 242 cm/s; c) 257 cm/s și 227 cm/s; d) 171 cm/s și 342 cm/s.

9.2. 46 cm.

9.3. c) La jumătatea distanței de la suprafața mesei pînă la nivelul apei din vas.

9.4. a) Uniform încetinit; b) 227 s; c) 65 s; d) se va mări.

9.6. Neglijînd pe S_2^2 în raport cu S_1^2 obținem $t = \frac{lS_1}{S_2}\sqrt{\frac{S_1\rho}{2F}} = 0{,}53$ s.

9.7. $v = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{16\,V^2}{\pi^2 g^2 d^4}}} = 32\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

9.8. a) La capătul inferior al tubului B; b) mai sus decît nivelul inferior al tubului E.

9.9. Cu $5{,}2 \cdot 10^6\ \frac{N}{m^2}$

9.10. $m = \pi d_1^2 d_2^2\, l\sqrt{\frac{D\rho}{8(d_1^4 - d_2^4)}} = 107$ kg

9.11. Se ridică.

9.12. a) $Re = 5{,}4 \cdot 10^{-6}$; afirmația este corectă ; b) 5,4 mm.

9.14. 12,5 kW

9.15. a) 10^5 ; b) $720 \frac{m}{s^2}$

9.16. a) 16,5 cm/s ; b) 5,4 Torr

9.17. $\simeq 0{,}01$ cm^3

10.1. Volumul nu se modifică ; lungimea se mărește dacă corpul mai rece are secțiunea paralelă cu suprafața de contact mai mică.

10.2. Da

10.3. a) 420°C ; b) 140°C

10.4. În cazul $2\alpha_2 = \alpha_1$ (de exemplu — aluminiul și fierul)

10.6. Cu 16 s

10.7. $\omega = \omega_0 \frac{1}{(1 + \alpha t)^2}$ unde α este coeficientul de dilatație liniară. Energia cinetică se va micșora cu cantitatea $\simeq J_0 \omega_0^2 \alpha t$.

10.8. Dacă primul vas se dilată în sus, nivelul lichidului în al doilea vas va scădea și invers În cazul unui vas cilindric, nivelul rămîne constant.

10.9. ≈ 47°C.

10.10. $\beta_2 = \frac{P_2 - P_1 + \beta_1 t\,(P_2 - P_0)}{(P_1 - P_0)t} = 2{,}9 \cdot 10^{-5}$ grd^{-1} unde β_1 este coeficientul de dilatație cubică a mercurului.

10.11. 754,6 mm

10.12. 173°C

11.1. 79

11.2. 751 Torr

11.3. a) 3,5 cm ; b) mai mare de 95 cm

11.4. $3{,}9 \cdot 10^{-3}$ Torr

11.5. $\rho = \frac{mh_2}{V(h_2 - h_1)} = 1{,}2 \frac{g}{cm^3}$

11.6 $7{,}2 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$

11.7. 150 cm^3

11.8. 637

11.9. 554 l

11.10. $16 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$

11.11. 1,82 $\frac{l}{g}$

11.12. 1 320 g

11.13. 1,48 g

11.14. $u = \dfrac{mRT}{\mu pS\tau} = 0{,}9\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

11.15. $3\ \dfrac{\text{cm}}{\text{s}}$

11.16. Forța ascensională : $F = -(m_1 - m_2)g = m_1 g\left(1 - \dfrac{m_2}{m_1}\right)$ unde m_1 și m_2 sînt masele de hidrogen și aer dezlocuit. Dar $\dfrac{m_2}{m_1} = \dfrac{\mu_2}{\mu_1}$ iar presiunea, temperatura, volumul aerului și hidrogenului sînt egale. Cît timp m_1 este neschimbat (gazul nu curge din înveliș) F este constantă. b) 2 kg.

11.17. 29,3 m

11.18. 2,4

11.19. 2 at

11.20. $30{,}2\ \dfrac{\text{g}}{\text{mol}}$

11.21. $0{,}48\ \dfrac{\text{g}}{\text{l}}$

11.22. $1{,}45\ \dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

11.23. 1 950 m

11.24. 20 N

11.25. 758 Torr

12.1. a) $c_v = 649\ \dfrac{\text{J}}{\text{kg K}}$; $c_p = 908\ \dfrac{\text{J}}{\text{kg K}}$

12.2. $\gamma = 1{,}47$

12.3. 5 860 J

12.4. $t_2 = t_1 + \dfrac{v_2}{2c_v} = 22°\text{C}$

12.5. $3{,}15 \cdot 10^7$ J

12.6. ≈ 5 m^3 și 5,5 m^3

12.7. Se calculează mai întîi masa produselor de ardere : $m = \dfrac{pV\mu}{RT} = 35{,}8$ g. Prin ardere se degajă o cantitate de căldură $Q = 0{,}9 \cdot 41 \cdot 850$ J și se va obține temperatura $t_2 = t_1 + \dfrac{Q}{mc_v} = 1\,690°\text{C}$. Se va obține presiunea $p_2 = \dfrac{p_1 T_2}{T_1} = 2 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{N}}{\text{m}^2}$

12.8. $Q = 1{,}66 \cdot 10^4$ J ; $\Delta U = 1{,}18 \cdot 10^4$ J ; $L = 4{,}8 \cdot 10^3$ J

12.9. $L = p_0 S\left(h_1 - h_0 \ln \dfrac{h_0 + h_1}{h_0}\right) = 2{,}37$ J

12.10. a) 2,5 l·at ; —6,5 l·at ; —9 l·at ; b) 2,5 l·at ; —0,5 l·at ; —3 l·at

12.11. $\dfrac{L_2}{L_1} = \dfrac{1 - n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{(\gamma-1)\ln n}$; a) 1,5 ; b) 0,8

12.12. 450°C

12.13. $\Delta T = -\frac{g}{c_p}\Delta h = -5°C$

12.14. $p = 32{,}4$ at ; $t = 491°C$; $L = 4\,300$ J

12.15. a) 2,5 l·at ; —3 l·at ; —5,5 l·at ; b) 2,5 l·at ; —2, 11 l·at ; —4.61 l·at

12.16. $T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{2Sp_0\gamma}} = 0{,}065$ s

12.17. Vezi figura 12.17—R.

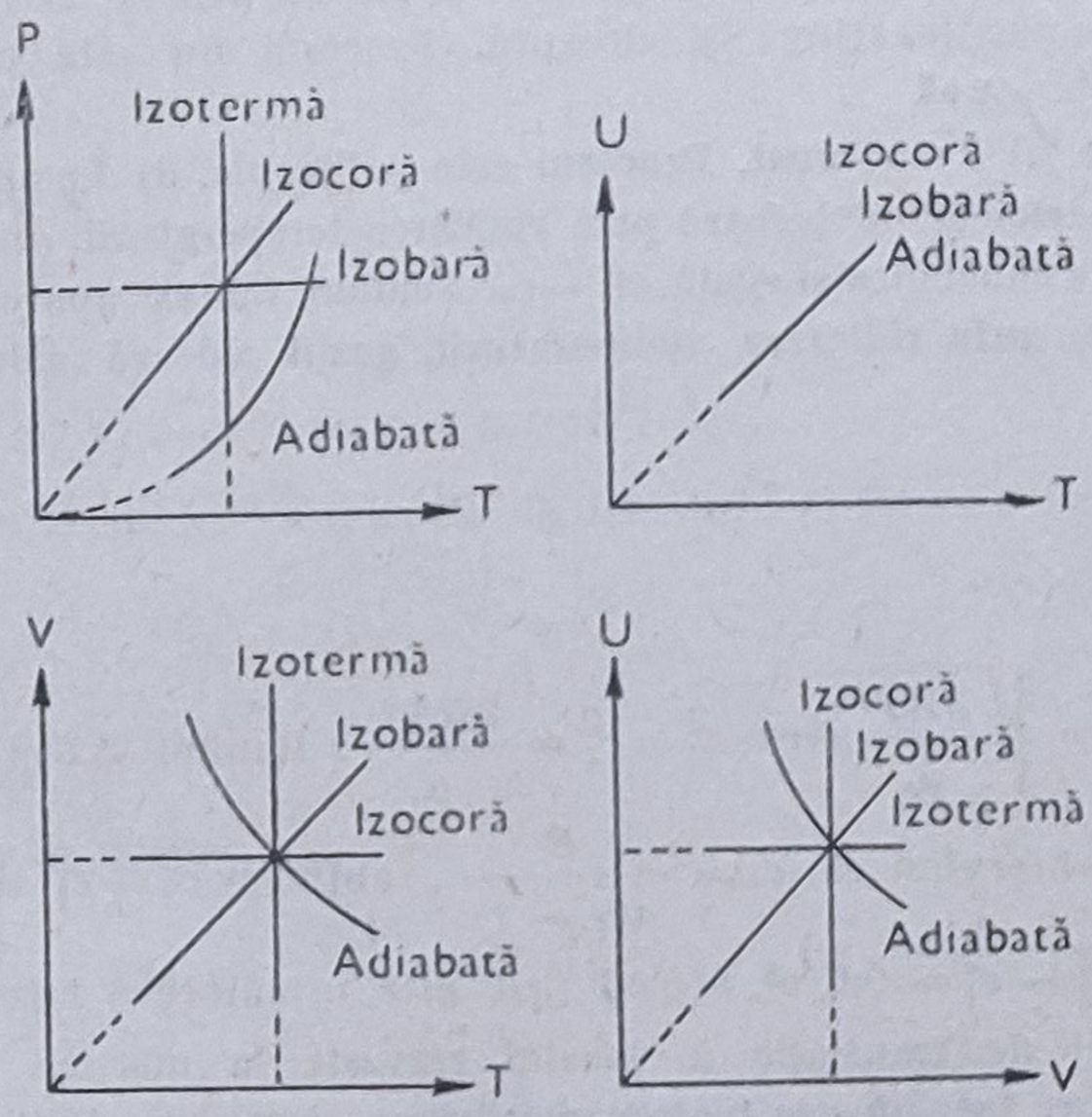


Fig. 12.17 – R

12.18. $p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$; $T = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{\frac{p_1V_1}{T_1} + \frac{p_2V_2}{T_2}}$

12.19. Lucrul mecanic al compresorului într-un ciclu este egal cu suma ariilor $ABGF$ și $BCOG$ minus aria $ADOF$, reprezentînd lucrul mecanic la mișcarea pistonului înapoi. Întrucît $\square BCOG = p_2V_2 = p_1V_1 = \square ADOF$, atunci $\square ABGF + \square BCOG - \triangle ADOF = \square ABGF$.

12.20. a) 37,8 kW ; b) 3 250 $\frac{kg}{h}$.

12.21. Facem calculul pentru un gram de gaz ; $\eta = \frac{L}{Q_1}$. Lucrul mecanic L este egal cu diferența lucrurilor mecanice în cele două procese adiabatice ; cantitatea de căldură Q_1 este necesară încălzirii gazului de la T_2 la T_3, $\eta = \frac{c_v(T_3 - T_4) + c_v(T_1 - T_2)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$.

După ecuația adiabatei $T_3V_2^{\gamma-1} = T_4V_1^{\gamma-1}$; $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$. De aici, $\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$ deci $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 0{,}34$.

12.22. b) $c = c_v \dfrac{n-\gamma}{n-1}$. Întrucît c_v, n și γ sînt constante și c este constantă. c) 1) Lucru mecanic, necesar ridicării temperaturii gazului cu un grad, se micșorează pe măsura ridicării pistonului, ecuația procesului în partea de jos a cilindrului $p\dfrac{q-2V}{q-V} = \text{const}$ (q este volumul total al gazului în cilindru), nu poate fi adusă la forma $pV^n = \text{const}$. Procesul nu este politropic. 2) Ecuația procesului în gaz este $\dfrac{p-p_0}{V-V_0} = \text{const}$. unde p_0 este presiunea atmosferică iar V_0 este volumul gazului pentru poziția pistonului indicată punctat în figura 12.22, a. Procesul nu este politropic. 3) Ecuația procesului în gaz are același aspect ca în cazul 2, volumul V_0 fiind volumul gazului în partea stîngă a tubului, după egalarea nivelelor lichidelor în părțile stîngă și dreaptă. Procesul nu este politropic. 4) Ecuația procesului în gaz este $pV^{\frac{\gamma+1}{2}} = \text{const}$. Procesul este politropic. d) În primele trei cazuri, căldurile specifice ale gazelor se micșorează prin ridicarea temperaturii. În cazul patru, căldura specifică a gazului este constantă și egală cu $-c_v$. Semnul minus apare datorită faptului că, în procesul respectiv, prin ridicarea temperaturii, gazul cedează căldură în exterior.

13.1. $8 \cdot 10^{16}$

13.2. $4{,}2 \cdot 10^{19}$

13.3. 0,23 Torr

13.4. Din formula $c = \sqrt{\dfrac{3RT}{\mu}}$ avem $c_2^2 = c_1^2 = \dfrac{3R\Delta T}{\mu}$. Punînd $\Delta T = \dfrac{v^2}{2c_v}$ (vezi rezolvarea problemei 12.4) și observînd că $c_v = \dfrac{R}{\mu(\gamma-1)}$, obținem $c_2^2 - c_1^2 = \dfrac{3}{2} v^2(\gamma-1)$. De aici: a) $c_2^2 - c_1^2 = v^2$; b) $c_2^2 - c_1^2 = 0{,}6\ v^2$. Sensul fizic este următorul: într-un gaz monoatomic toată energia mișcării de translație a vasului servește la mărirea energiei mișcării de translație a moleculelor. Într-un gaz biatomic, mărirea energiei mișcării de translație a moleculelor folosește 0,6 din energie: 0,4 din energie servește pentru mărirea energiei mișcării de rotație a moleculelor.

13.5. a) $562 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $25 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

13.6. —203°C

13.7. $c = \dfrac{3}{2}\sqrt{\dfrac{kT}{\pi\rho r^3}} = 169 \dfrac{\text{cm}}{\text{s}}$

13.8. a) Acest fapt se observă din aspectul asimetric al curbei: ordonata punctului, corespunzătoare unei viteze mai mari decît viteza cea mai probabilă, este mai mare decît ordonata punctului corespunzătoare vitezei mai mici decît cea mai probabilă, cu aceeași mărime. b) Cu unitatea. c) Multiplicînd abscisele de $\sqrt{\dfrac{T_2}{T_1}}$ ori și ordonatele de $\sqrt{\dfrac{T_1}{T_2}}$ ori.

13.9. a) $u = 518 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$; $\rho = 459 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

13.10. Zero

13.11. Punînd $\varepsilon = \dfrac{mv^2}{2}$ avem: $\Delta n = n \dfrac{4\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \cdot \dfrac{\varepsilon^{1/2}}{m^{3/2}\rho^3} \cdot e^{-\frac{2\varepsilon}{m\rho^2}} \Delta\varepsilon = n\varphi(\varepsilon)\Delta\varepsilon$. Maximul

funcției $\varphi(\varepsilon)$ corespunde la $\varepsilon_0 = \frac{m\rho^2}{4}$ de unde, viteza corespunzătoare maximului funcției de distribuție este $v_0 = \frac{\rho}{\sqrt{2}}$.

13.12. a) $\frac{\Delta n}{n} = \frac{4}{c\sqrt{\pi}} \cdot 0{,}02 = 1{,}66\%$; b) 1,85%

13.14. Se micșorează de 2,3 ori

13.15. a) $1{,}75 \cdot 10^{16}$ cm^{-3}

13.16. 55°C

13.18. $4{,}6 \cdot 10^{-2}$ Torr

13.19. $6 \cdot 10^{-3}$ Torr

13.20. $9{,}3 \cdot 10^{-8}$ s

13.21. $7 \cdot 10^{28}$

13.22. a) $6 \cdot 10^{-6}$ cm ; b) $12{,}5 \cdot 10^{-6}$ cm ; c) $9{,}4 \cdot 10^{-7}$ cm

13.23. a) Nu se schimbă ; b) se va micșora de 1,41 ori ; c) se va mări de 1,15 ori.

13.24. $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ cm

13.25. $6 \cdot 10^{-6}$ cm

13.26. $2{,}7 \cdot 10^{23}$ cm^{-2} s^{-1}

13.27. Se va micșora de 2,3 ori.

13.28. $\tau = \frac{\sqrt{2\pi RT\mu}}{NpS} = 0{,}31$ s

14.1. $p + \frac{a}{V^2}$ ar fi presiunea dacă toate moleculele s-ar găsi în volumul $V - b$ și nu ar interacționa între ele.

14.2. a) 24,6 at ; b) 23,3 at ; c) 25,4 at ; d) 24,1 at

14.3. 25,6 at ; 29,5 at

14.4. 21°C ; 0°C

14.5. $b = 0{,}04 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$; $a = 1{,}33 \frac{\text{l}^2 \text{ at}}{\text{mol}^2}$

14.6. a) Mai comprimat pentru $T > \frac{a}{Rb}$; b) 1 020 K (bioxid de carbon) 112 K (hidrogen).

14.7. a) 56,4 $\frac{\text{l} \cdot \text{at}}{\text{mol}}$; 56,8 $\frac{\text{l} \cdot \text{at}}{\text{mol}}$

14.8. Exprimînd p_1V_1 și p_2V_2 după formula lui Van der Waals și punînd $U_1 = U_2$ avem $R\Delta T = (RTb - a)\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)$. Într-un calcul aproximativ mărimea $\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}$ se poate calcula după formula lui Clapeyron $\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} = \frac{p_1 - p_2}{RT}$. De aici, $\Delta T = \left(Tb - \frac{a}{R}\right) \cdot \frac{p_1 - p_2}{RT}$; a) −1,3 K, b) +0,2 K ; aceste valori sînt apropiate de rezultatele experimentale.

14.9. 0,2 cm^3

14.10. ≈ 53 at ; 157 K

14.11. $a = 3{,}6 \dfrac{\text{l}^2\text{at}}{\text{mol}^2}$; b) $= 0{,}043 \dfrac{\text{l}}{\text{mol}}$

14.12. a) Masa eterului avînd volumul critic V_0 este $m = \dfrac{\mu}{V_k} V_0 = \dfrac{8\mu p_k}{3RT_k} V_0$. Volumul său la $t = 20°\text{C}$ (masa vaporilor de eter de deasupra eterului lichid se poate neglija) este $V = \dfrac{m}{\rho} = \dfrac{8\mu p_k V_0}{3RT_k \rho}$ de aici $\dfrac{V}{V_0} = 0{,}26$. b) Dacă temperatura este aceeași în tot volumul tubului, starea critică este posibilă numai în cazul cînd volumul critic al masei de eter este egal cu volumul gol al tubului. La o cantitate mai mică de eter, tot lichidul din tubul încălzit se vaporizează pînă la atingerea temperaturii critice. La o cantitate mai mare, pînă la atingerea temperaturii critice tot tubul se umple de lichid, iar apoi presiunea în tub crește repede. Aceasta se vede din figura 14.12 b—R ; pentru $V = V_1$ se poate observa starea critică ; pentru $V = V_2$ tot lichidul se vaporizează, pentru $V = V_3$ tot volumul va fi plin cu lichid. c) Vezi figura 14.12 c—R ; prima curbă — volumul tubului este egal cu volumul critic ; a doua — mai mic decît volumul critic ; a treia — mai mare decît volumul critic.

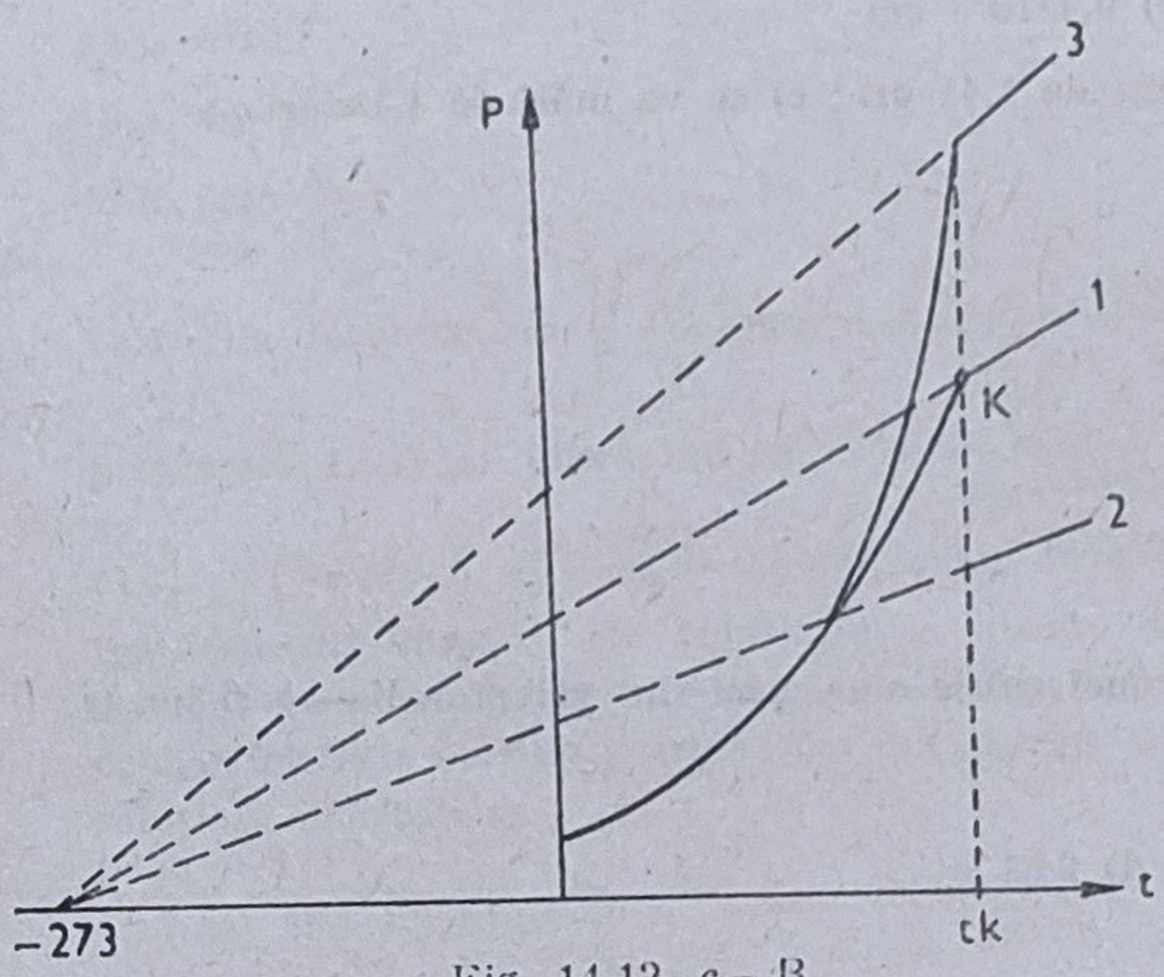


Fig. 14.12. c—R

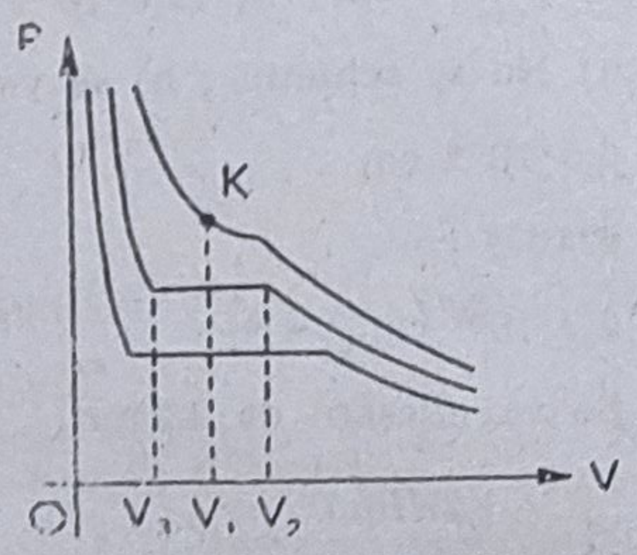


Fig. 14.12. b—R

14.13. Vezi figura 14.13—R

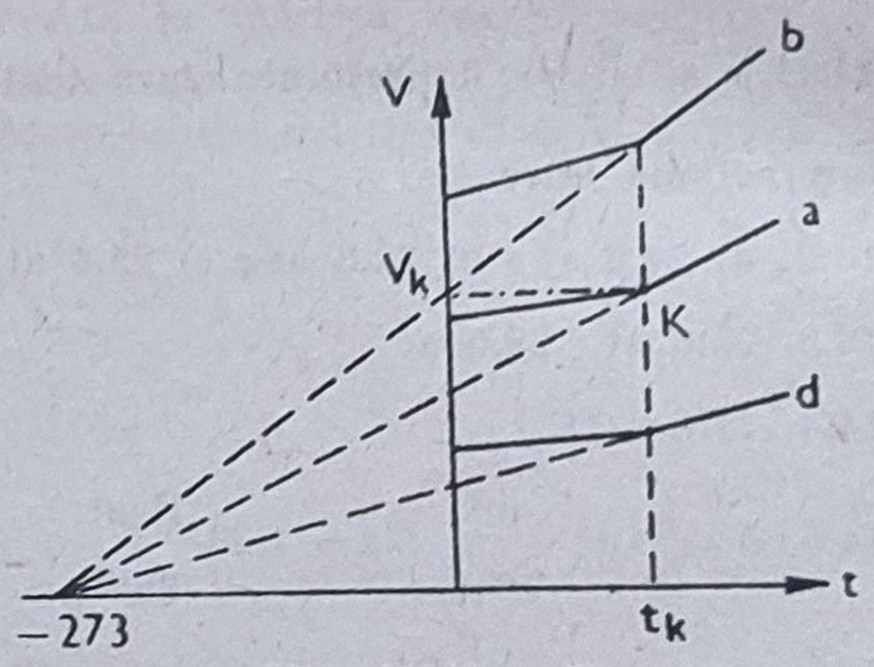


Fig. 14.13. —R

15.1. $\approx 1{,}007 \dfrac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

15.2. $2{,}6 \dfrac{\text{cm}^3}{\text{s}}$

15.3. a) $5 \cdot 10^{-3}$ J ; b) $2{,}3 \dfrac{\text{N}}{\text{m}^2}$

15.4. Neglijăm suprafața primei picături în comparație cu suma suprafețelor picăturilor mici $L = \dfrac{6m\sigma}{d\rho} = 6 \cdot 10^{-2}$ J.

15.5. b) 6 cm

15.6. $\Delta R = 0$ întrucît diferența presiunilor hidrostatice este compensată de forțele aerodinamice și de viscozitate.

15.7. În figura 15.7—R cerculeţele negre reprezintă secţiunile conductoarelor sitei. La echilibru, în interiorul lichidului, în apropierea punctului A, presiunea este $p_0 + \rho gh$ (p_0 este presiunea atmosferică). Diferenţa presiunilor în interiorul şi în exteriorul lichidului este $\frac{2\sigma}{R}$ unde R este raza de curbură din apropierea punctului A. Dacă prin atingerea cu degetul se va obţine o suprafaţă cu o rază de curbură mai mare (indicată punctat în dreapta, $R_1 > R$), echilibrul se strică şi lichidul va curge cum se arată în figură. În afară de aceasta, tensiunea superficială a lichidului se poate micşora datorită murdăririi cu degetul.

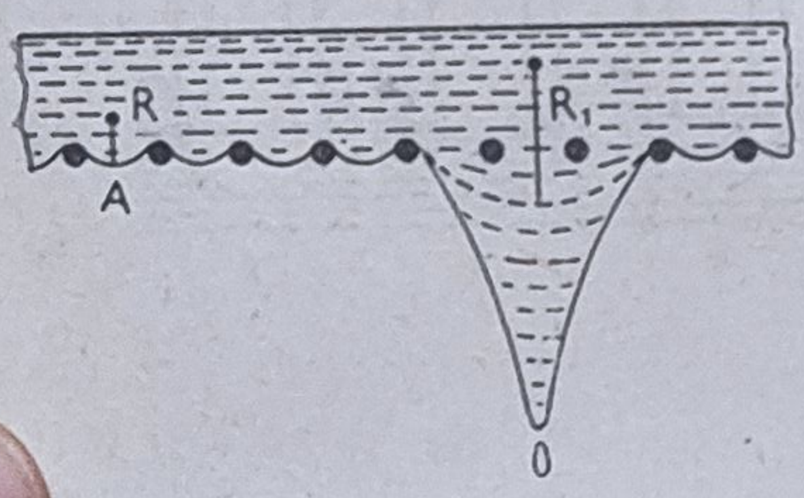


Fig. 15.7.—R

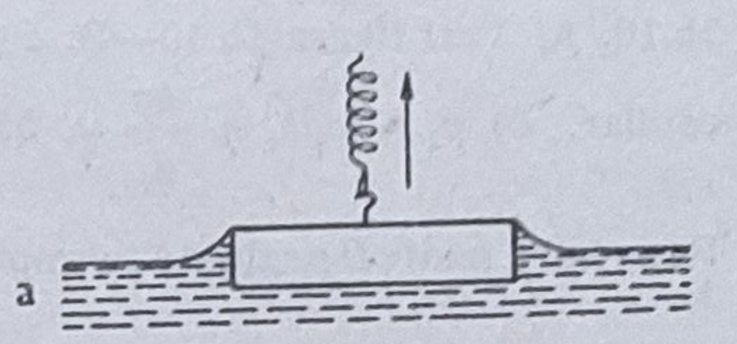


Fig. 15.8.—R

15.8. a) Forma suprafeţelor curbe ale lichidului din figura 15.8—R satisface relaţia $\frac{\sigma}{R} = \rho gh$, unde R este raza de curbură, h înălţimea punctului considerat deasupra suprafeţei lichidului. În figura *d* este indicată poziţia plăcii în momentul desprinderii. Tensiunea maximă a resortului corespunde unei înălţimi puţin mai mică h. b) Pe baza datelor problemei avem $\frac{2\sigma}{h} = \rho g \frac{h}{2}$, de unde $h = 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$. Observăm că această formulă poate fi dedusă fără ipotezele introduse în textul problemei. Notînd un element de lungime de pe generatoarea suprafeţei cu dS şi înclinarea suprafeţei cu φ obţinem expresia curburii $\frac{d\varphi}{dS} = \frac{gh\rho}{\sigma}$. Evident, $\frac{dh}{dS} = \sin\varphi$. Împărţind cele două ecuaţii membru cu membru, găsim $hdh = \frac{\sigma}{\rho g} \sin\varphi\, d\varphi$. Integrînd, obţinem $\frac{h^2}{2} = \frac{\sigma}{\rho g}(1 - \cos\varphi)$. Pentru $\cos\varphi = -1$ obţinem formula de mai sus. Întrucît suprafaţa apei în poziţia *d* din figură este îndreptată în lungul suprafeţei discului şi rezultanta forţelor de tensiune superficială care acţionează asupra plăcii este nulă, atunci forţa care acţionează asupra plăcii este egală cu greutatea coloanei aflată dedesubt: $F = Sh\rho g = 2S\sqrt{\sigma\rho g} = 0{,}105$ N.

15.9. a) Vezi figura 15.9—R. Poziţia *e* şi poziţia *h* corespund diferenţei maxime de nivel în tuburi. b) 41 mm; c) 27 mm.

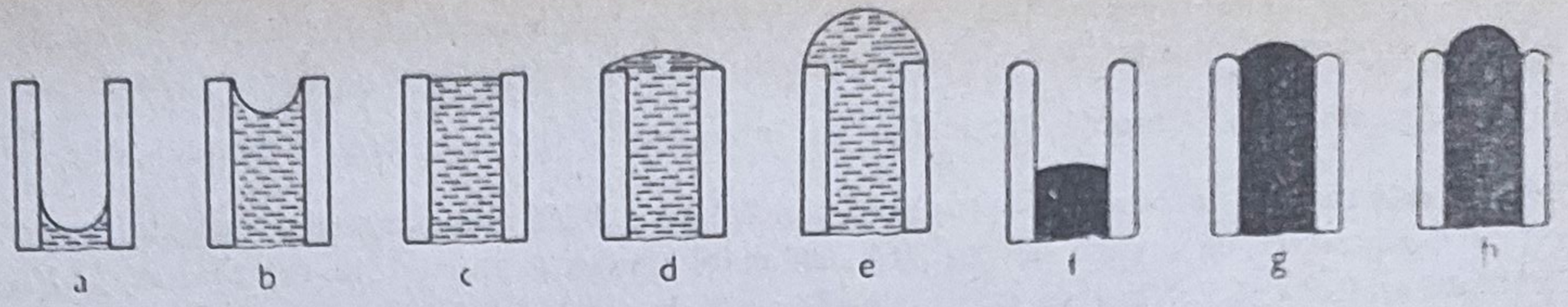


Fig. 15.9.—R

15.10. a) Vezi figura 15.10—R. Poziţiile *b* şi *e* corespund presiunii maxime a aerului în tubul capilar. b) $p_1 = \rho g h_1 + \frac{4\sigma}{d_1} = 550 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Raza bulei poate fi neglijată în raport cu adîncimea de scufundare. c) $2\,150 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

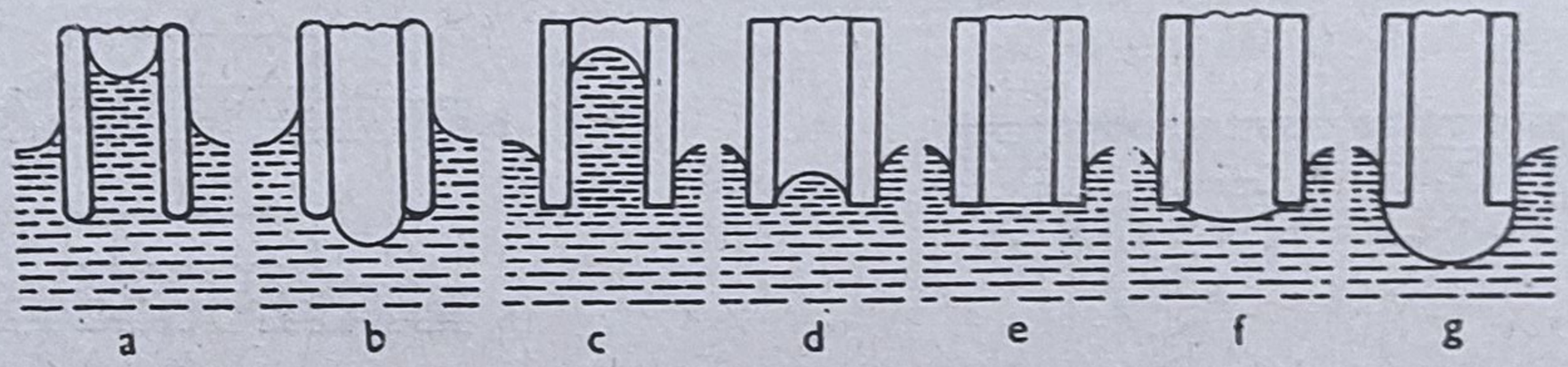


Fig. 15.10.—R

15.11. $P = \pi\sigma d = 3{,}5 \cdot 10^{-5}$ N

15.12. Nivelul apei în tub va coincide cu nivelul apei în vas atît timp cît nu va ajunge la porţiunea îngustă. Apoi nivelul apei în tub se va ridica împreună cu tubul pînă la 14 cm după care va scade iar etc.

15.13. La o presiune a aerului în ramura îngustă cu 3,5 Torr mai mare decît în ramura mai largă.

15.14. $h = \frac{4\sigma}{g\rho(d_1 - d_2)} = 5{,}7$ cm

15.16. 13 cm

15.17. $x = \frac{4h_0\sigma}{p_0 d + 4\sigma} = 2{,}8$ mm

15.18. a) 17,8 cm ; b) 20 cm

15.19. Este justă numai cu condiţia ca tensiunea superficială la suprafaţa de contact dintre ichide, să fie egală cu diferenţa tensiunilor superficiale la suprafeţele de contact lichid — vapori (pentru fiecare lichid în parte).

16.1. La destinderea adiabatică şi răcirea aerului umed în coloanele de aer ascendent, are loc căderea ploii. Aerul eliberat parţial de vapori se încălzeşte adiabatic, fiind astfel nesaturat.

16.2. 2,8 cm

16.3. 0,0052 Torr

16.4. 922 g

16.5. $1{,}14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

16.6. a) Presiunea vaporilor se va lua din tabelul XX. Presiunea aerului este proporțională cu temperatura absolută. Presiunea comună $p_1 = 1\,540$ Torr $= 2{,}16 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$. b) Deoarece, la 100°C vaporii nu sînt saturanți, presiunea lor se poate calcula din ecuația lui Clapeyron. Presiunea comună $p_2 = 1\,620$ Torr $= 2{,}16 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$.

16.7. a) 30°C ; b) 29°C

16.8. a) 0,015 g ; b) aproximativ la 116°C ; c) 2 595 J

16.9. 19,8 g.

16.10. a) $154 \frac{J}{g}$; b) $192 \frac{J}{g}$

16.11. 3201,5 J

16.12. 768 Torr

16.13. 0,013 mm. Echilibrul este instabil. Bulele mai mici dispar, iar cele mai mari se măresc și se ridică.

16.14. 9,41 Torr

16.15. a) 7,67°C ; b) 8,33°C

16.16. $0{,}35 \frac{g}{cm^2\ s}$

17.1. $\Pi = 12$ at

17.2. $\Pi = 2{,}3$ at

17.3. 0,26 g

17.4. 3,7 mg

17.6. Din rezolvarea problemei precedente $\Delta p = \frac{\rho_1 m RT}{\rho_2 \mu V} = 1{,}2$ Torr prin urmare, presiunea vaporilor de apă este 758,8 Torr.

17.7. Dacă pereții vasului în care fierbe soluția și alte corpuri cu care vin în contact vapori ce provin din soluție au temperatura mai mare sau egală cu a soluției, atunci vaporii au temperatura soluției. Dacă însă, pereții vasului sau termometrul au o temperatură mai mică,i atunci vaporii se condensează pe ele, cedînd căldură și încălzindu-le pînă la temperatura vaporilor saturați la presiunea respectivă. În acest fel, în lipsa termometrului, temperatura vaporilor va fi egală cu a soluției, iar în prezența lui, vaporii se condensează pe el, făcîndu-l să arate 100°C. (La 760 Torr.)

17.8. a) Pe baza datelor problemei $\theta = \frac{0{,}11}{3} \Delta p$ (Δp se exprimă în Torr). Dar, $\Delta p = \frac{\rho_1 \Pi}{\rho} = \frac{\rho_1 m RT}{\mu V \rho_2}$ unde $m = 1$ g ; $V = 100$ cm^3. De aici $C = \mu\theta = 5{,}1$ grad·g·mol^{-1} ; b) $\mu = 283 \frac{g}{mol}$.

17.9. Cu 0,13°C

17.10. $7{,}76 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$

17.11. 750 Torr

18.2. $= 2{,}6 \frac{J}{grad}$

18.3. a) $-0{,}199\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.4. $-0{,}837\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.5. a) $-2{,}93\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$; b) $+2{,}93\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.6. $14\ 438\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.7. Aceasta se vede din următoarele considerații: a) temperatura amestecului este $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$; $\Delta S = m \ln \frac{T}{T_1} + m \ln \frac{T}{T_2} = m \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1T_2} > 0$; b) Înainte de amestec energiile interne ale gazelor vor fi $\frac{p_1V}{\gamma - 1}$ și $\frac{p_2V}{\gamma - 1}$; după amestec; $2\frac{pV}{\gamma - 1}$ unde γ este raportul căldurilor specifice. De aici, în lipsa schimbului de căldură cu exteriorul $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$. În acest fel, $\Delta S = m\left(c_v \ln \frac{p}{p_1} + c_v \ln \frac{p}{p_2}\right) = mc_v \ln \frac{(p_1 + p_2)^2}{4p_1p_2} > 0$.

18.8. $+3{,}26\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.9. $\Delta S = \frac{p}{T}\left[V_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + V_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}\right] = 1{,}8\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.10. $2{,}22\ \frac{\text{J}}{\text{grad}}$

18.11. Rezolvarea se bazează pe faptul că variația entropiei sistemului depinde numai de stările sale inițială și finală. Variația entropiei specifice a vaporilor, la volum constant, prin ridicarea temperaturii de la T_1 la T_2 este $c_v \ln \frac{T_1}{T_2}$. Pe de altă parte, procesul încălzirii vaporilor la volum constant poate fi înlocuit cu următorul șir de procese: 1) Vaporii se transformă în apă la aceeași temperatură; 2) apa obținută se încălzește de la T_1 la T_2; 3) apa se transformă în vapori; 4) vaporii obținuți se destind izoterm pînă la volumul inițial; întrucît, conform condițiilor problemei, vaporii au densitate mică, procesul de dilatație poate fi exprimat prin formulele gazului ideal $c_v \ln \frac{T_1}{T_2} = -\frac{\gamma_1}{T_1} + c_0 \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\gamma_2}{T_2} + \frac{R}{\mu} \ln \frac{v_1}{v_2}$ unde c_0 este căldura specifică a apei (în intervalul dat de temperaturi, ea este $4\ 180\ \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$). Folosind datele din tabelul XXI, vom găsi $c_v = 1\ 338\ \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$.

18.12. Notînd cu x procentul de vapori care se condensează, temperatura absolută și căldura latentă de vaporizare la presiunea de 14 at cu T_1 și r_1, iar la presiunea de 2 at prin T_2 respectiv r_2, rezultă $S_2 - S_1 = \frac{r_2}{T_2} - \frac{r_1}{T_1} - c \ln \frac{T_1}{T_2} - x\frac{r_2}{T_2}$. La procesele adiabatice $S_2 - S_1 = 0$. De aici: $x = \frac{\frac{r_2}{T_2} - \frac{r_1}{T_1} - c \ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{r_2}{T}} = 21\%$.

18.13. $-0{,}00756 \frac{\text{grad}}{\text{at}}$

18.14. $2{,}26 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

18.15. Pentru o valoare mică a înălțimii h $\Delta p = \rho_2 g h$. Avem $\Delta T = \frac{ghT\left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)}{r}$ sau,

deoarece $\frac{\rho_2}{\rho_1} \ll 1$, $\Delta T = \frac{ghT}{r} = 0{,}0012°\text{C}$.

18.16. $0{,}114 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$.

18.17. $8{,}15 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Experiența dă aproximativ $2{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Diferența se explică prin faptul că, se aplică moleculelor izolate, noțiunile relative la moleculele aflate în interacțiune.

18.18. 1,47 KJ.

18.19. $Q = L \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 12\,540$ J.

18.20. Mai întîi apa, în sistemul de încălzire, apare ca o sursă rece a motorului și primește o cantitate de căldură egală cu $H \frac{T_3}{T_1}$. În al doilea rînd, aceeași masă de apă este sursă caldă a mașinii frigorifice și primește cantitatea de căldură $H \frac{T_1 - T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_3 - T_2}$. În acest fel, la arderea a 1 kg de combustibil, ea primește o cantitate de căldură $H \frac{T_3(T_1 - T_2)}{T_1(T_3 - T_2)} =$

$= 62{,}3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

18.22. $V = \frac{kT \ln \frac{n_2}{n_1}}{gh(\rho - \rho_0)} = 1{,}9 \cdot 10^{-13}$ cm^3 unde ρ și ρ_0 sînt densitățile particulelor în suspensie și a apei.

19.1. $5{,}69 \cdot 10^6$ J.

19.2. 0,36°C.

19.3. 28,6°C.

19.4. $119 \frac{\text{J}}{\text{msK}}$.

19.5. Să considerăm un cub cu latura de 1 cm. Vom nota numărul perechilor de plăci și grosimea lor cu n, b_1 și b_2. Atunci $n(b_1 + b_2) = 1$, $\lambda_\perp = \frac{1}{n\left(\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2}\right)}$; $\lambda_{\parallel} = n(b_1\lambda_1 + b_2\lambda_2)$;

$\frac{\lambda_{\parallel}}{\lambda_\perp} = n^2\left[b_1^2 + b_2^2 + b_1 b_2 \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\lambda_1\lambda_2}\right] > 1$ fiindcă $\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\lambda_1\lambda_2} > 2$.

19.6. Gradientul de temperatură al peretelui de sus este mai mic.

19.7. $Q = \frac{2\pi\lambda\tau(t_2 - t_1)l}{\ln \frac{d_1}{d_2}} = 8{,}36 \cdot 10^8$ J

19.8. Primul tub dă o cantitate de căldură de 1,2 ori mai mare.

19.9. $4{,}3 \cdot 10^6$ J.

19.10. a) 50 MJ b) Temperatura stratului de funingine este 400—200°C ; a fierului 200—195°C, a stratului de calcar 195—183°C.

20.1. $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ C

20.2. $7{,}6 \cdot 10^{-5}$ m

20.3. Sferele se vor atinge și apoi se vor stabili la o distanță de 3,1 cm.

20.4. $1{,}95 \cdot 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}}$

20.5. $1\,600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

20.6. a) Dedesubtul electronului la distanța de $1{,}2 \cdot 10^{-4}$ cm. b) 2,3 cm.

20.7. Distanța de la sarcina q_1 este $x = l \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} \pm \sqrt{q_2}}$. Semnul — corespunde sarcinilor de semn contrar, semnul + sarcinilor de același semn.

20.8. a) 0 ; b) 0 ; $\frac{2q}{4\pi\varepsilon a^2}$ sau $\frac{4q}{4\pi\varepsilon a^2}$ depinzînd de poziția sarcinilor.

20.9. $4{,}3 \cdot 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$; $4{,}2 \cdot 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$

20.10. a) $3{,}9 \cdot 10^{-9}$ cm ; b) $4{,}11 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ și $2{,}04 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$; c) $6{,}6 \cdot 10^{-13}$ N și $3{,}3 \cdot 10^{-13}$ N, 10^{-21} Nm și zero.

20.11. a) $2 \cdot 10^{-14}$ N ; b) $1{,}3 \cdot 10^{-19}$ J ; $2{,}13 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

20.12. Asupra dipolului A : $-\frac{p^2}{4\pi\varepsilon r^3}$; asupra dipolului B ; $-\frac{2p^2}{4\pi\varepsilon r^3}$; asupra întregului sistem $+\frac{3p^2}{4\pi\varepsilon r^3}$. Suma tuturor momentelor de rotație este nulă.

20.13. $5{,}9 \cdot 10^4$ C

20.14. 10^{-10} N

20.15. a) Inducția va fi constantă, iar intensitatea va scădea de 2 ori ; b) Inducția va crește de 2 ori, iar intensitatea nu se va schimba.

20.16. a) $1{,}33 \cdot 10^{-7}$ C ; b) $3{,}3 \cdot 10^{-6} \frac{C}{\text{m}^2}$

20.17. Nu se va schimba.

20.18. $3{,}4 \cdot 10^{-3}$ J.

20.19. $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon R R_0} = 6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

20.20. a) 0 ; b) $E = \frac{gh}{4\pi\varepsilon \sqrt{(R^2 + h^2)^3}} = 1{,}08 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. c) Intensitatea maximă se obține în punctul care se află la distanța h_0 de inel : $h_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$; $E_{max} = 2{,}31 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$.

20.21. Pe baza problemei anterioare divizăm placa în inele concentrice foarte subțiri (vezi figura 20.21—R). Sarcina pe un inel de rază x este $\gamma = \sigma \cdot 2\pi x dx$. Atunci $dE = \frac{\sigma b x dx}{2\varepsilon (x^2 + b^2)^{3/2}}$;

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}}\right) = 3{,}77 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ b) Pentru $b \to 0$ cel de-al doilea termen din paranteză este nul și $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon}$.

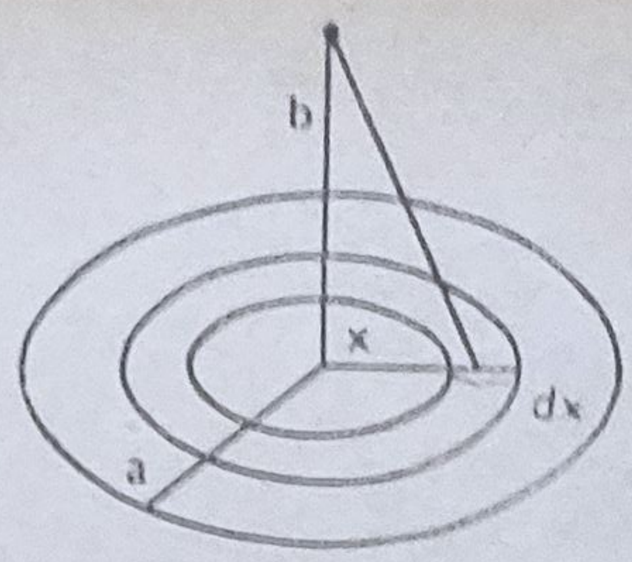


Fig. 20.21.—R

Dacă $a \ll b$ atunci $\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}} \simeq 1 - \frac{a^2}{2b^2}$ și în acest caz $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon b^2}$

20.22. Analog ca în problema 20.21 se obține răspunsul $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}}$.

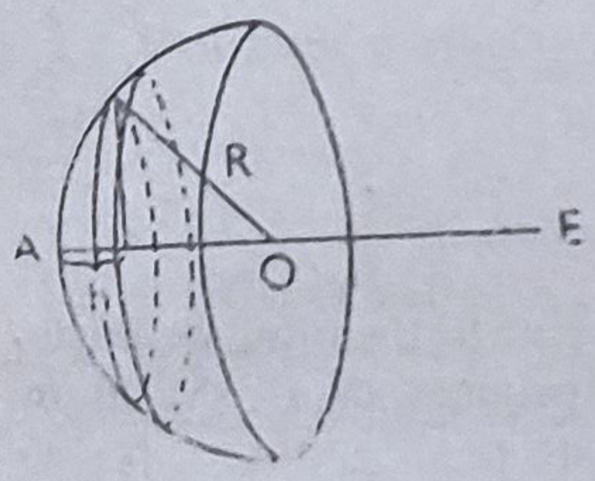


Fig. 20.23.—R

20.23. Împărțim semisfera în inele foarte subțiri (vezi figura 20.23—R). Suprafața fiecărui inel este $2\pi R dh$. Sarcina pe inel este $\sigma 2\pi R dh$. Din considerente de simetrie, reiese că, intensitatea este dirijată după direcția OA. Intensitatea cîmpului produs de sarcina fiecărui inel este $dE = \frac{\sigma R dh}{2\varepsilon R^2} \cdot \frac{R - h}{R}$. De aici $E = \frac{\sigma}{4\varepsilon}$.

20.24. a) $2 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$; b) $-7{,}2 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

20.25. a) 0; b) $2{,}25 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$; $7{,}53 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

20.26. $E = 7{,}8 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

21.2. a) Nu, fiindcă orientarea cîmpului în toate punctele este perfect determinată. b) Nu.

21.5. a) 2,8 eV; b) $3{,}5 \cdot 10^{-2}$ eV; c) 0,434 eV; d) 18 eV

21.6. 40 electroni

21.7. $1{,}6 \cdot 10^{-17}$ C

21.8. $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ N

21.9. a) La tensiune constantă între plăci; b) la sarcină constantă.

21.11. a) $4 \cdot 10^{-7}$ J; b) 0; c) 0 și $6{,}7 \cdot 10^{-7}$ J

21.12. a) $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ J; b) zero

21.13. a) $V = \frac{q}{4\pi\varepsilon\sqrt{R^2 + h^2}}$; b) $E = \frac{qh}{4\pi\varepsilon\sqrt{(R^2 + h^2)^3}}$; c) $V_1 = 3\,000$ V; $V_2 = 1\,341$ V

21.14. $V = \frac{\sigma}{2\varepsilon}(\sqrt{a^2 + b^2} - b)$

21.15. a) $\frac{q}{4\pi\varepsilon R}$; b) $\frac{q}{4\pi\varepsilon R}$; c) $\frac{q}{4\pi\varepsilon(R +$

21.17. $-3\,000$ V; $-3\,600$ V.

21.18. $\gamma = \dfrac{2\pi\varepsilon U}{\ln \dfrac{R_2}{R_1}} \simeq 2 \cdot 10^{-8} \dfrac{C}{m}$; b) $\sigma_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-7} \dfrac{C}{m^2}$; $\sigma_2 = 3{,}3 \cdot 10^{-8} \dfrac{C}{m^2}$; c) 12 500 $\dfrac{V}{m}$;

5 750 $\dfrac{V}{m}$; 3 740 $\dfrac{V}{m}$

21.19. $10^{15} \dfrac{m}{s^2}$; $5 \cdot 10^6 \dfrac{m}{s}$

21.20. Va fi străpuns numai după introducerea plăcii de sticlă, întrucît în aceast caz, intensitatea cîmpului în aer va fi de 31,4 $\dfrac{kV}{cm}$ iar după străpungerea aerului, intensitatea în sticlă va fi de 130 $\dfrac{kV}{cm}$.

21.21. Intensitatea cîmpului în stratul dielectric din condensatorul cilindric este mai mare la suprafaţa interioară. La atingerea tensiunii de străpungere a dielectricului dat, avem condiţiile $\dfrac{\gamma}{2\pi r_1 \varepsilon_1} = E_1$; $\dfrac{\gamma}{2\pi r_2 \varepsilon_2} = E_2$, unde r_1 şi r_2 sînt razele interioare ale cilindrilor dielectrici.
De aici, $E_1 r_1 \varepsilon_1 = E_2 r_2 \varepsilon_2$.

21.22. a) Din relaţia dintre intensităţile maxime în straturile izolatoare $\dfrac{E_2}{E_1} = \dfrac{\varepsilon_1 r_1}{\varepsilon_2 r_2}$ rezultă că la creşterea intensităţii cîmpului în condensator, va fi străpuns mai întîi stratul de hîrtie, apoi cel de sticlă. De aici se deduce că străpungerea are loc la tensiunea de 45 kV. b) În acest caz, se străpunge mai întîi tot stratul de hîrtie, la tensiunea de 48 kV.

21.23. a) $E = \dfrac{2U}{l \ln \dfrac{l - r}{r}} = 40 \dfrac{V}{cm}$. b) Adunînd vectorial, obţinem

$$E = \frac{Ul}{2R_1 R_2 \ln \dfrac{l - r}{r}} = 3 \frac{V}{cm}$$

21.24. $\Delta U = 79$ V

21.26. $U = 2 U_0 \ln \dfrac{R_2}{R_1}$

21.27. $v = 1{,}58 \cdot 10^7 \dfrac{m}{s}$

21.28. $U_2 = \dfrac{2d^2 U_1}{b^2} = 400$ V.

21.29. Sub acţiunea cîmpului din condensator electronul s-a deplasat cu $s = \dfrac{e U b^2}{2dmv_0^2}$; lucrul mecanic al forţelor electrice este $\dfrac{eU}{d} s = \dfrac{e^2 U^2 b^2}{2d^2 m v_0^2}$. El este egal cu diferenţa energiilor electronului $\dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{mv_0^2}{2}$. Această diferenţă, avînd în vedere valoarea mică a diferenţei $v - v_0$ se poate lua egală cu $(v - v_0)v\,m$.

De aici $v - v_0 = \dfrac{e^2 U^2 b^3}{2d^3 m^2 v_0^3} = 5{,}6 \cdot 10^4 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

22.1. a) Aceeaşi diferenţă de potenţial, egală cu $\dfrac{U}{3}$. Nu. Aceeaşi intensitate egală cu $\dfrac{U}{d}$.

b) Între A şi C şi între B şi D diferenţa de potenţial este $\dfrac{U}{3}$. Între C şi D diferenţa de potenţial este nulă. Pe plăcile C şi D sarcinile negative şi pozitive au aceeaşi valoare ca şi pe plăcile A şi B. Intensitatea cîmpului între A şi C şi între B şi D este egală cu $\dfrac{U}{d}$; între C şi D este nulă. c) Diferenţa de potenţial şi intensitatea între A şi C şi între B şi D este $\dfrac{U}{9}$ respectiv $\dfrac{U}{3d}$; între C şi D aceste mărimi sînt egale cu $-\dfrac{2U}{9}$ respectiv, $\dfrac{2U}{3d}$. d) Aceleaşi raţionamente ca mai înainte. b) Între A şi C şi între B şi D diferenţa de potenţial este $\dfrac{U}{2}$; între C şi D este nulă. Intensitatea cîmpului, între A şi C şi între B şi D este $\dfrac{3U}{2d}$; între C şi D este nulă. c) Diferenţa de potenţial şi intensitatea cîmpului sînt egale cu $-\dfrac{U}{3}$ respectiv $-\dfrac{U}{d}$.

22.2. a) Sarcina indusă nu se schimbă. b) Se măreşte de 2 ori.

22.3. a) Forţele care acţionează asupra sarcinilor nu se schimbă. Nu se schimbă nici intensitatea cîmpului în orice punct din spaţiu. c) Intensitatea cîmpului între suprafeţe este nulă. Intensitatea cîmpului şi forţele din restul spaţiului rămîn cele precedente.

22.4. Distribuţia liniilor de forţă, în cazul sferei şi peretelui legat la pămînt, este aceeaşi ca în cazul a două sfere încărcate, cu sarcini de semn contrar, aflate la o distanţă dublă. (Vezi figura 22.4—R.)

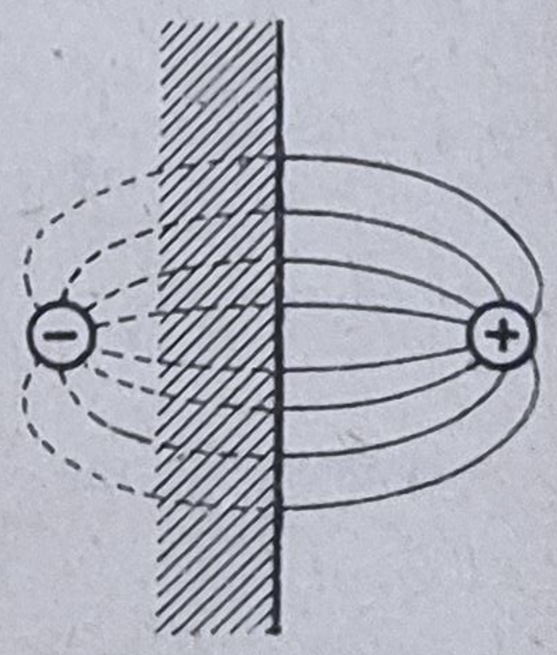


Fig. 22.4.—R

$$F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon (2a)^2} = 2{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

22.5. Aceasta reiese din rezultatul problemei precedente.

22.6. a) $F = \dfrac{q_1^2 - q_2^2}{4\pi\varepsilon (d_1 - d_2)^2} = 4 \cdot 10^{-5}$ N

22.7. 114 $\dfrac{\text{V}}{\text{cm}}$

22.8. a) $\sigma = -\dfrac{q}{2\pi a^2} = -2{,}93 \cdot 10^{-7} \dfrac{\text{C}}{\text{m}^2}$. b) Din considerente de simetrie: $\sigma = -\dfrac{qa}{2\pi r^3} = -6{,}33 \cdot 10^{-8} \dfrac{\text{C}}{\text{m}^2}$. c) Conform figurii 22.8—R un inel foarte îngust de rază b are aria $ds = 2\Pi\ bdb$. Sarcina aflată pe el este $dq' = \sigma ds = -\dfrac{q\ abdb}{\sqrt{(a^2 + b^2)^3}}$. Sarcina totală pe întreg peretele este $q' = -\dfrac{qa}{2} \displaystyle\int_0^\infty \frac{2bdb}{\sqrt{(a^2 + b^2)^3}} = -q =$

$= -1{,}66 \cdot 10^{-9}$ C.

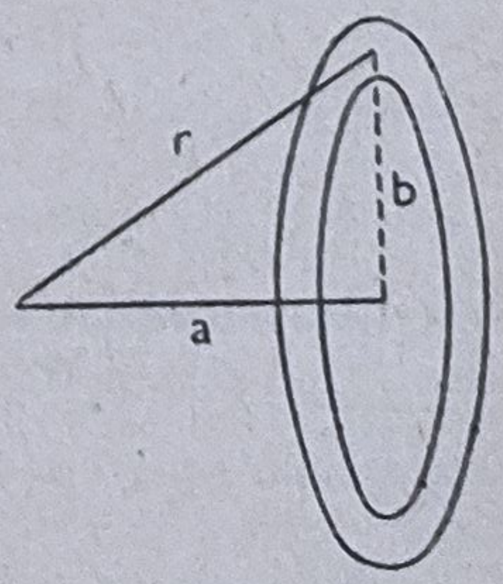
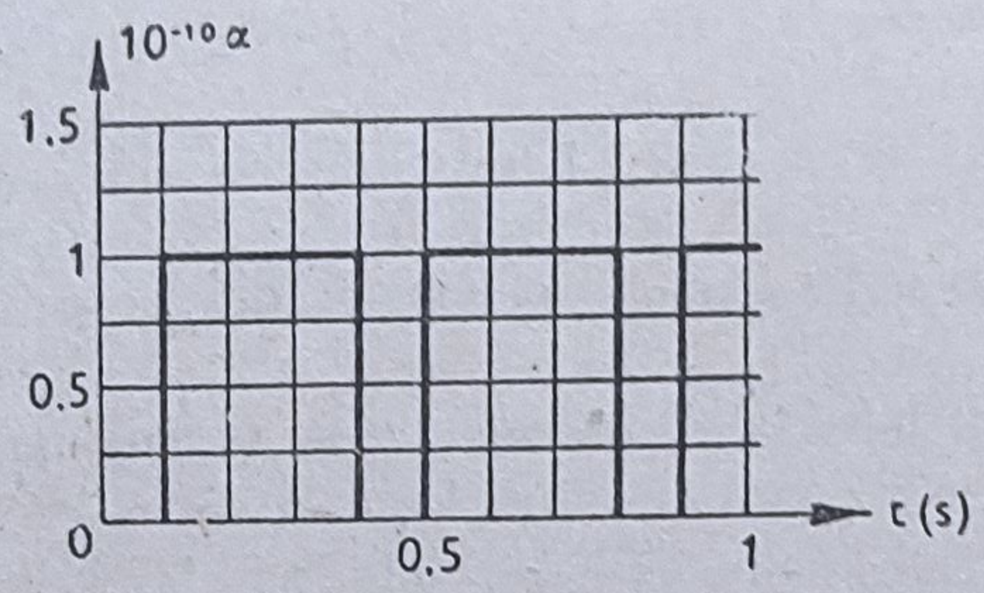


Fig. 22.8.—R

22.9. Firele de praf încărcate pozitiv și cele neîncărcate se vor mișca în toate cazurile spre conductor. Firele de praf încărcate negativ se vor mișca spre tub, dacă se află departe de conductor și spre conductor, dacă se vor găsi mai aproape decît distanța calculată.

22.10. Lucrul mecanic este produs pe seama acțiunii mîinii la transferul sarcinii de la un potențial mai mic către unul mai ridicat. De aceea, primele transferuri de energie sînt mici, atît timp cît potențialele sînt apropiate.

22.11. Vezi figura 22.11—R.



Fig, 22.11.—R

22.12. Distanța dintre punctele opuse ale cilindrilor, în apropierea punctului aflat la distanța minimă, este $l = \Delta + \frac{x^2 + y^2}{2R}$, cîmpul electric $E = \frac{U}{\ }$, densitatea superficială a forței este $f = \frac{E^2}{8\pi}$. Forța de interacțiune dintre cilindri este $F = 2\pi \int_0^\infty rf\,dr = \frac{U^2}{4} \int_0^\infty \frac{r\,dr}{l^2} = \frac{U^2 R}{4\Delta} =$

$= 1{,}25 \cdot 10^{-4}$ N.

23.1. $k = 5{,}3 \cdot 10^{-11} \frac{\text{C}}{\text{mV}}$

23.2. $1{,}06 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{cm}^2}$

23.3. a) 78°46′ ; b) $131 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$; c) $1{,}13 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$

23.4. a) Din condiția de egalitate a inducției în aer și în petrol, rezultă $\sigma_1 = \frac{q}{2\pi h^2} \cdot \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} = 9{,}66 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$; b) $\sigma_1 = \frac{qh}{2\pi r^2} \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} = 2{,}13 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$; c) vezi răspunsul la problema 22.8. $q_1 = q \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} = 5{,}66 \cdot 10^{-9}$ C.

23.6. Forța rezultantă, care acționează asupra plăcii superioare, este suma forțelor de atracție dintre sarcinile ce se găsesc pe ea și cele de pe placa inferioară, care ar fi avut loc dacă și aceasta ar fi fost în aer cu forța de atracție, spre sarcina de polarizație, la suprafața lichidului, a cărui densitate de sarcină a fost calculată în problema 23.4. $\sigma_1 = 1 \frac{q}{S} \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$. Astfel $F_1 = q\left(\frac{q}{2\varepsilon_1 S} + \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_1}\right) = \frac{q^2}{S} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = 0{,}113$ N. Analog se calculează forța care acționează

asupra plăcii inferioare $F_2 = \frac{q^2}{S} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = 0{,}013$ N. Forța care acționează asupra suprafeței lichidului este $F_3 = \frac{q^2}{S}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2}\right) = 0{,}1$ N.

24.2. 15 V

24.4. $3{,}5 \cdot 10^{-9}$ F

24.5. Capacitatea sistemului celor două sfere tangente este evident mai mică decît suma capacităților celor două sfere izolate. Prin îndepărtarea sferelor, capacitatea celei mai mari se mărește cu o valoare mai mică. De aceea, potențialul celei mai mari se micșorează cu o valoare mai mică.

24.6. $7{,}44 \cdot 10^{-10}$ F

24.7. $3{,}88 \cdot 10^{-10}$ F

24.8. S-a mărit cu 12,5%.

24.9. Se mărește aproape de două ori.

24.10. $2{,}6 \cdot 10^{-8}$ A

24.11. $9 \cdot 10^{-9}$ C

24.12. a) $C = \frac{\pi\varepsilon_0 d(2l - d)}{2(l - d)} = 2{,}85 \cdot 10^{-13}$ F; b) $C = \frac{\pi\varepsilon_0 d\,(4l - d)}{2l - d} = 5{,}66 \cdot 10^{-13}$ F

24.13. a) 7 500 V; 4 500 V; b) 2,25 μC

24.14. 44,4 pF

24.15. 3 500 V

24.16. Da

24.17. a) $C = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}$; $C' = \frac{C_1C_3}{C_1 + C_3} + \frac{C_2C_4}{C_2 + C_4}$. b) Punînd $C_3 = kC_1$; $C_4 = kC_2$; $C = \frac{(C_1 + C_2)^2 k}{(C_1 + C_2)(1 + k)} = \frac{(C_1 + C_2)k}{1 + k}$; $C' = \frac{kC_1^2}{C_1(1 + k)} + \frac{kC_2^2}{C_2(1 + k)} = \frac{(C_1 + C_2)k}{1 + k} = C$.

24.18. 516 pF.

24.19. $1{,}19 \cdot 10^{-9}$ F; $1{,}22 \cdot 10^{-9}$ F

24.20. a) 0,05 μF. b) Se va mări de 1,75 ori.

24.21. 0,58 J

24.22. a) În cazul unor condensatoare identice, sarcinile nu se scurg și deci energia sistemului rămîne constantă. Aceasta se mai poate arăta astfel: la trecerea de la legarea în serie, la cea în paralel, tensiunea se micșorează de n ori iar capacitatea se mărește de n^2 ori, deci energia rămîne neschimbată. În cazul condensatoarelor de capacități diferite, se produce scurgerea sarcinilor. Energia sistemului și lucrul mecanic al sarcinilor se micșorează. b) Energia sistemului rămîne neschimbată. Totuși, dacă scurtcircuităm bateria, se va produce numai descărcarea ei parțială, deoarece condensatoarele din mijloc vor rămîne parțial încărcate.

24.23. Dacă la închiderea întrerupătorului K se produce o scurgere de sarcină, atunci energia sistemului se va micșora; de aici deducem că se va mări capacitatea lui. Dacă nu se produce scurgerea, atunci capacitatea rămîne constantă.

24.24. $2{,}79 \cdot 10^{-9}$ J

24.25. $1{,}19 \cdot 10^{-9}$ J

24.26. a) Variația pozitivă a energiei se face pe seama lucrului mecanic, la introducerea sau scoaterea dielectricului. b) Variația energiei este negativă. Se produce un lucru mecanic pozitiv și un lucru mecanic negativ dublu al sursei de curent.

24.30. $L = \dfrac{C_1 C_2 U^2 (C_1 - C_2)^2}{2(C_1 + C_2)^3} = 4{,}7 \cdot 10^{-3}$ J

24.31. $6 \cdot 10^{-5}$ J

24.32. $L = \dfrac{1}{2} \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} (U_1 - U_2)^2 = 8{,}4 \cdot 10^{-3}$ J

24.33. a) $4{,}8 \cdot 10^{-6}$ Nm ; $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ Nm ; $5{,}9 \cdot 10^{-3}$ Nm ; b) $4{,}8 \cdot 10^{-6}$ Nm pentru orice α.

24.34. Capacitatea bateriei înainte și după străpungere este $\dfrac{C}{n}$ și $\dfrac{C}{n-1}$. Energia : $\dfrac{CU^2}{2n}$ și $\dfrac{CU^2}{2(n-1)}$. Variația energiei : a) $\Delta W = \dfrac{CU^2}{2}\left(\dfrac{1}{n-1} - \dfrac{1}{n}\right) = \dfrac{CU^2}{2n(n-1)} = 4 \cdot 10^{-2}$ J ; b) $L_1 = \dfrac{CU^2}{2n(n-1)} = 4 \cdot 10^{-2}$ J, c) $L_2 = \dfrac{CU^2}{n(n-1)} = 8 \cdot 10^{-2}$ J.

24.35. $9{,}4 \cdot 10^{15} \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3}$

24.36. a) Zero ; b) $2{,}8 \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3}$

24.37. a) Intensitatea cîmpului în interiorul sferei, la distanța r de centru, este $E_1 = \dfrac{qr}{4\pi\varepsilon R^3}$ și energia $W_1 = \displaystyle\int_0^R \frac{E^2\varepsilon}{2} 4\pi r^2 dr = \frac{q^2}{40\pi\varepsilon R}$; b) Intensitatea cîmpului în exteriorul sferei la distanța r $E_2 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$ de unde $W_2 = \dfrac{q^2}{8\pi\varepsilon R}$; c) $W = \dfrac{3}{20\pi} \dfrac{q^2}{R\varepsilon}$; d) $\Delta W = \dfrac{0{,}111}{2\pi} \dfrac{q^2}{R\varepsilon}$.

25.1. a) 15 C ; b) 0,26 C

25.2. $4{,}4 \cdot 10^8 \dfrac{\text{A}}{\text{m}^2}$

25.3. $3{,}8 \dfrac{\text{A}}{\text{m}^2}$ și $1\,900 \dfrac{\text{A}}{\text{m}^2}$

25.4. 2,5 m

25.5. 57 Ω

25.6. $R = \dfrac{\rho}{2\pi d} = 100$ Ω

25.7. Nu.

25.8. a) În filamentul de wolfram curentul este mai mare la conectare, iar la cel de cărbune invers. b) Densitatea curentului în filamentul de wolfram este mai mică la mijloc și mai mare la suprafață. La cel de cărbune, invers.

25.9. 44°C

25.10. 0,0049 grad^{-1}

25.11. Vergeaua de cărbune trebuie să fie de 11 ori mai scurtă.

25.12. Pentru ca temperatura să nu influenţeze asupra indicaţiilor voltmetrului, curentul de care depinde momentul de rotaţie al bobinei trebuie să varieze proporţional cu variaţia elasticităţii resortului. Coeficientul termic al rezistenţei magnaninei şi al rezistenţei bobinei este $\alpha = \alpha_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$. Compensarea se va produce cu condiţia $\frac{1}{1 + \alpha t} = 1 + \beta t$; β fiind mic, rezultă $\alpha \approx -\beta$. De aici, $\alpha_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\beta$; $R_2 = 9R_1$.

25.13. a) 45 V şi 15 V; b) 20 V şi 40 V; c) 60 V şi 0

25.14. $U = j\pi d\rho N = 6{,}4$ V

25.15. $R_x = R \frac{(U_0 - U_2)U_1}{(U_0 - U_1)U_2} = 78\,600\ \Omega$.

25.16. 77 mA.

25.17. 4,1 V şi 0,05 Ω.

25.18. a) —2 V. Semnul minus indică faptul că sursa de curent este conectată invers. b) 3,2 V

25.19. 0,47 A

25.20. a) $E_1 > 2E_2$; b) $E_1 = 2E_2$; c) $E_1 < 2E_2$

25.21. Acul primului voltmetru va devia spre dreapta, şi va indica 1,75 V. Acul celui de-al doilea voltmetru va devia spre stînga şi va indica 1,5 V.

25.22. a) 0; b) 0; c) Diferenţa de potenţial între un număr impar de conductoare este E_1, iar între un număr par, nulă.

25.23. $q = I\rho\varepsilon = 1{,}8 \cdot 10^{-10}$ C

25.24. La limitele stratului de electrolit se formează sarcini adevărate care modifică valoarea cîmpului.

25.25. Liniile de forţă urmează toate curburile tubului sau conductorului deoarece pe pereţii tubului sau pe izolaţia conductorului, există sarcini adevărate.

25.27. a) $130 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$; b) $57 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$; c) 4,1 A

25.28. Aceasta rezultă din următorul raţionament: Pe baza legii lui Ohm (care este aplicabilă, deoarece densitatea de curent care apare este foarte mică), în straturile dielectricului apar intensităţile E_1 şi E_2 al căror raport este diferit de raportul intensităţilor din straturile condensatorului, $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ numai dacă $\frac{\rho_1}{\rho_2} \neq \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$. Din această cauză, starea de echilibru se va stabili atunci cînd, la limitele dielectricilor, se vor acumula sarcini aşa încît, să aibă loc relaţia $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$. Evident că, în prezenţa conductibilităţii şi cu condiţia $\frac{\rho_1}{\rho_2} \neq \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ capacitatea condensatorului este mai mare decît în absenţa acesteia. b) Valoarea acestei sarcini se poate calcula astfel: dacă U este tensiunea totală la bornele condensatorului, atunci după legea lui Ohm $E_1 = \frac{U\rho_1}{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}$; $E_2 = \frac{U\rho_2}{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}$. Pe de altă parte, la echilibru: $E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$ şi $E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2}$, unde σ_1 şi σ_2 sînt densităţile sarcinilor adevărate, la limitele dielectricilor. $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = 7{,}3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$.

c) La descărcare sarcinile exterioare, pe armăturile condensatoarelor se transferă, astfel încît, pe armături, să rămînă sarcini de acelaşi semn, a căror sumă este σS (dar inegale, în general,

între ele). Se obține o „situație ca la două condensatoare legate în serie, încărcate în sensuri opuse, întrucît armăturile lor opuse se află la același potențial. Cum unul dintre condensatoare se descarcă mai repede decît celălalt, apare o diferență de potențial între armăturile condensatorului cu dielectric și este posibilă descărcarea.

25.29. $t = CR \ln \dfrac{E}{E - U} = 0{,}046$ s

25.30. $\rho = \dfrac{4\pi t}{\varepsilon_r \ln \dfrac{q_0}{q}} = 1{,}47 \cdot 10^{15}$ Ωcm

26.1. 1,3 Ω

26.2. a) 0,75 Ω, b) 1Ω

26.3. a) $R_1 = r\sqrt{3}$; b) $R_2 = \dfrac{r}{\sqrt{3}}$

26.4. 261 Ω

26.5. a) +0,1% ; b) +11%

26.6. a) —0,3% ; b) —30%

26.7. $R = \dfrac{U_2}{I_2} - \dfrac{U_2 - U_1}{I_1} = 25{,}6\ \Omega$

26.8. 0,025 A

26.9. a) 1 A ; b) 3,73

26.10. $x = 6{,}4$ km

26.11. a) $\gamma \dfrac{(a+b)\sqrt{a^2+b^2}}{a+b+2\sqrt{a^2+b^2}}$; b) $\gamma \dfrac{2ab+(a+b)\sqrt{a^2+b^2}}{a+b+2\sqrt{a^2+b^2}}$

26.12. $I = \dfrac{UR_1}{R_1R_2 + R(R_1+R_2)} = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ A

26.13. $R_1 = \dfrac{R(U-U_1-U_2)}{U_2} = 204\,000\ \Omega$; $R_2 = \dfrac{R(U-U_1-U_2)}{U_1} = 255\,000\ \Omega$

26.14. a) 108 V și 72 V ; b) 99 V și 81 V ; c) 4 000 Ω și 6 000 Ω

26.15. $U_1 = U \dfrac{xrl}{Rxl + rl^2 - Rx^2}$; a) $U_1 = 0$; b) $U_1 = U$; c) $U_1 = U \dfrac{2r}{R+4r} < \dfrac{1}{2} U_1$;
d) U_1 este proporțional cu x.

26.16. 1,58 A și 3,65 A

26.17. $\dfrac{1}{3}$ A ; $\dfrac{2}{3}$ A ; 1 A

26.18. a) $U_1 = 0{,}27$ V ; $U_2 = 1{,}27$ V ; $U_3 = -2{,}23$ V ; b) 0,73 V

26.19. 0,5 Ω ; 0,33 Ω ; 0,5 Ω

26.20. $I_1 = 1{,}5$ A ; $I_2 = 2{,}5$ A ; $I_3 = 4$ A

26.21. Fără calcul se vede că $I_4 = 0$ deoarece R_4 este scurtcircuitată. Ținînd seama de aceasta, găsim $I_1 = 0{,}4$ mA, $I_2 = 0{,}7$ mA, $I_3 = 1{,}1$ mA

26.22. $\Delta t = \dfrac{RU}{R_v e} = 3{,}2°C$

26.23. $n_1 = 2$; $n_2 = 200$.

26.24. a) $I_1 = \dfrac{E_1 r_2 + R(E_1 - E_2)}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)}$; $I_2 = \dfrac{E_2 r_1 + R(E_2 - E_1)}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)}$; $I = \dfrac{E_2 r_1 + E_1 r_2}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)}$;

b) $r = \dfrac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$; $E = \dfrac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2}$; c) $I_1 = \dfrac{E_1}{r_1}$; $I_2 = \dfrac{E_2}{r_2}$, adică curenții sînt aceiași ca la scurtcircuitarea fiecărui element. d) Al doilea element nu debitează. 1) Dacă $r_2 \to \infty$. În acest caz primul element debitează curentul $I_1 = \dfrac{E_1}{r + R} = I$; 2) Dacă $E_2 = \dfrac{E_1}{r_1 + R} \cdot R$. Aceasta înseamnă că E_2 este egală cu căderea de tensiune în circuitul exterior. e) $R = \dfrac{E_1 r_2 - E_2 r_1}{2(E_2 - E_1)}$. Este posibil în următoarele cazuri: 1) pentru $\dfrac{E_1}{r_1} = \dfrac{E_2}{r_2}$; 2) pentru $\dfrac{E_1}{r_1} \leqslant \dfrac{E_2}{r_2}$ și $E_2 \leqslant E_1$.

26.25. În cazul b) indicațiile ampermetrului se micșorează, iar în cazul c) se măresc.

26.26. Folosim simetria problemei. Notăm potențialele punctelor A_0, A_1, A_2 cu a_0, a_1, a_2 și respectiv b_0, b_1, b_2. Dacă $a_0 = -b_0$ atunci $a_1 = -b_1$ și $a_2 = -b_2$. Formăm două ecuații pentru curenții din punctele A_1 și A_2 pentru determinarea celor două mărimi necunoscute a_1 și a_2 punînd $a_0 = -b_0 = \dfrac{1}{2} b$. Găsim curentul total $\dfrac{11}{15}$ A adică rezistența este $\dfrac{15}{11}$ Ω.

27.2. 23

27.3. 54 m

27.5. a) $I = \dfrac{nE \mp \sqrt{n^2E^2 - 4Pnr}}{2rn}$; $I_1 = 2\dfrac{2}{3}$ A; $I_2 = 2$A; $P_{max} = \dfrac{8}{6}$ W

27.7. $L = \dfrac{1}{3} \tau R(I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2) = 2\,480$ J

27.8. a) +2 J; +2J; b) +2 J; +0,7 J; c) —2 J; +0,6 J

27.9. a) $\eta = \eta_0 \dfrac{E(I_1 + I_2) - UI_2}{UI_1} = 64\%$; b) 67%

27.10. a) $Q_1 = \dfrac{q^2 R}{\tau} = 2{,}4 \cdot 10^2$ J; b) $Q_2 = \dfrac{4q^2 R}{3\tau} = 3 \cdot 10^2$ J; c) $Q_3 = \dfrac{\ln 2 q^2 R}{2\tau} = 79$ J

27.11. 7 min

27.12. 133

27.13. a) 30 min; b) 6 min 40 s

27.14. Pe baza considerațiilor din enunțul problemei, se poate scrie $\dfrac{U_1^2}{R} \tau_1 - k\tau_1 = \dfrac{U_2^2}{R} \tau_2 - k\tau_2 = \dfrac{U_3^2}{R} \tau_3 - k\tau_3$ de unde, $\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \dfrac{U_1^2 - U_2^2}{U_3^2(\tau_2 - \tau_1) + U_1^2 \tau_1 - U_2^2 \tau_2} = 44$ min.

27.15. a) $R_1 R_2 = r^2$; b) $R_1 R_2 > r^2$

27.16. $Q = \dfrac{I^2}{2\pi d} \rho \tau \ln \dfrac{R}{r} = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ J

27.17. a) $\tau = \frac{\rho l^2 c l \rho_0 (1 + 0{,}5\alpha l)}{U^2} = 5 \cdot 10^{-5}$ s în care $\rho_0(1 + 0{,}5\alpha l)$ este rezistența medie specifică a plumbului la schimbarea temperaturii de la 0°C, pînă la punctul de topire l; ρ și c sînt densitatea și căldura specifică a plumbului. b) $\tau = \frac{\pi^2 d^4 \rho c \ln (1 + \alpha l)}{16 I^2 \rho \alpha} = 5{,}6 \cdot 10^{-4}$ s.

27.18. Curentul limită pentru siguranța dată se determină din condiția ca temperatura în regim staționar, să fie egală cu temperatura de topire. Cantitatea de căldură disipată de conductor pe secundă este $Q = Sf(t)$ unde funcția $f(t)$ exprimă dependența pierderii de căldură de temperatură. În regim staționar pentru primul conductor $\frac{I_1^2 \rho (1 + \alpha t) l \cdot 4}{\pi d_1^2} = \pi l d_1 f(t)$; pentru al doilea $\frac{I_2^2 \rho (1 + \alpha t) l \cdot 4}{\pi d_2^2} = \pi l d_2 f(t)$ de unde $\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{d_1^3}{d_1^3}$; $I_2 = I_1 \sqrt{\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3} = 23$ A.

27.19. Ca urmare a egalității temperaturilor de incandescență ale lămpilor, suprafețele laterale ale filamentelor trebuie să fie proporționale cu puterile lămpilor. De aici obținem: $d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{P_2^2 U_1^2}{P_1^2 U_2^2}} = 0{,}0131$ mm; $l_2 = l_1 \sqrt[3]{\frac{P_2 U_2^2}{P_1 U_1^2}} = 614$ mm.

27.20. 4 V; 0,55 A

27.21. În regim staționar, cantitatea de căldură cedată la trecerea curentului este egală cu cantitatea de căldură disipată în aer; $I^2 R = kS(t_1 - t_2)$ unde k este coeficientul de transmisie a căldurii. Se știe că $\Delta l = l_0 \alpha (t_1 - t_0)$, unde α este coeficientul de dilatație. De aici $I^2 R = \frac{kS\Delta l}{l_0 \alpha}$; $\frac{\Delta l}{l_0} = k_1 I^2$ unde k este coeficientul de proporționalitate $k_1 = \frac{4\alpha\rho}{\pi^2 d^3 k}$, invers proporțional cu cubul diametrului sîrmei.

27.22. Pe porțiunea EC circulă curentul I_1 direct proporțional cu tensiunea U; $I_1 = k_1 U$. Pe porțiunea AC circulă curentul $I_2 = k_2 I$ (proporțional cu curentul de încărcare), minus curentul $\frac{I_1}{2}$ adică $I_2 - \frac{I_1}{2}$. Pe porțiunea CB circulă curentul $I_2 + \frac{I_1}{2}$. Alungirea porțiunii AC este $c\left(I_2 - \frac{I_1}{2}\right)^2$ unde c este un coeficient de proporționalitate (care depinde de dimensiunile și natura conductorului). Alungirea porțiunii CB este $c\left(I_2 + \frac{I_1}{2}\right)^2$. Diferența alungirilor condiționează deviația acului care este egală cu $2cI_1 I_2 = 2ck_1 k_2 IU = kP$.

28.1. $I = \frac{Nev}{l}$ unde N este numărul total de electroni liberi în conductor, iar v viteza lor dirijată. De aici, $\rho = \frac{Ilm}{e} = 2{,}3 \cdot 10^{-5}$ kg·m·s^{-1}.

28.2. a) 240 ani; b) 9,8 kN

28.3. $2{,}8 \cdot 10^{-11}$ V

28.4. $1{,}1 \cdot 10^{-10}$ C

28.5. Lucrul maxim al termocuplului este $L = Q \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Cantitatea de electricitate este $q = \frac{L}{E} = \frac{Q(T_1 - T_2)}{ET} = 1\,480$ C.

28.7. La apropierea sarcinii pozitive de filament, aceasta atrage electronii emiși de el. Electronii se depun pe pereții tubului, creînd în interiorul tubului un cîmp care atenuează cîmpul

exterior și firul rămîne în repaus. La îndepărtarea sarcinii pozitive, firul este atras de sarcina negativă de pe pereții balonului. La incandescență slabă, firul emite foarte puțini electroni. La incandescență maximă, electronii care se deplasează între electrozi ionizează resturile de gaz. Datorită prezenței ionilor, volumul interior devine conductor și de aceea cîmpul electric din interior lipsește.

28.8. 3,1 eV

28.9. 0,15 A

28.10. 0,12 V

29.1. $v > 2\sqrt{\frac{\varphi e}{m}} = 1{,}28 \cdot 10^6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

29.2. a) $U \geqslant 13{,}56$ V ; b) $U \geqslant \varphi(n+1) = 67{,}8$ V

29.3. La început fișia este atrasă pentru că pe ea se formează la electrizarea prin influență sarcini de semn contrar celor de pe vîrful ascuțit. Cînd tensiunea atinge o asemenea valoare încît energia corespunzătoare lucrului mecanic al forțelor electrice pe drumul liber este suficientă pentru ionizarea moleculelor aerului, se naște vîntul ionic, fișia se încarcă cu sarcini de același semn cu vîrful ascuțit și este respinsă.

29.4. Dacă ω este viteza unghiulară de rotație a ionilor, m_1 și m_2 masele lor, x distanța de la primul ion pînă la centrul de masă al sistemului, atunci energiile ionilor sînt $\frac{1}{2} m_1\omega^2x^2$ și $\frac{1}{2} m_2\omega^2(b-x)^2$. Cu condiția $\frac{1}{2} m_1\omega^2x^2 + \frac{1}{2} m_2\omega^2(b-x)^2 = \frac{3}{2} kT$, forțele centripete fiind $m_1\omega^2x = m_2\omega^2(b-x) = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 b^2}$, unde e este sarcina ionului, rezultă $b \approx 2 \cdot 10^{-6}$ cm, unde ε_0 este permitivitatea vidului.

29.5. $3{,}4 \cdot 10^8$ cm^{-3}

29.6. $4{,}78 \frac{\mu a}{\text{km}^2}$

29.7. $2{,}5 \cdot 10^7$ cm$^{-3} \cdot$s^{-1}

29.8. 17 000 ori

29.9. a) Deasupra oceanului $n = 790$ cm^{-3} ; deasupra uscatului : $n = 800$ cm^{-3}. b) Deasupra oceanului 14 m și 19,7 m ; deasupra uscatului : 178 cm și 248 cm.

29.10. a) $t = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0}\right) = 62$ s ; b) $t = \frac{1}{\beta} \ln \frac{n_0}{n} = 460$ s

29.11. a) Lărgimea zonei A de unde toți ionii negativi ajung la anod este $\frac{U}{d}\tau k_+ = \frac{U_n}{dq} k_+$; Lărgimea zonei C este $\frac{Un}{dq} k_-$ (figura 29.11—R). În zona mijlocie B are loc recombinarea. La saturație zona B dispare și lărgimea comună a zonelor A și C devine egală cu d. De aici $\frac{U}{d} = \frac{qd}{n(k_+ + k_-)}$. Substituind această expresie în relația $j = en(k_+ + k_-)\frac{U}{d}$ obținem $j = eqd$; b) $U_0 = \frac{d^2q}{n(k_+ + k_-)} = \frac{d^2\sqrt{q\alpha}}{k_+ + k_-} = 11$ V. Acest re-

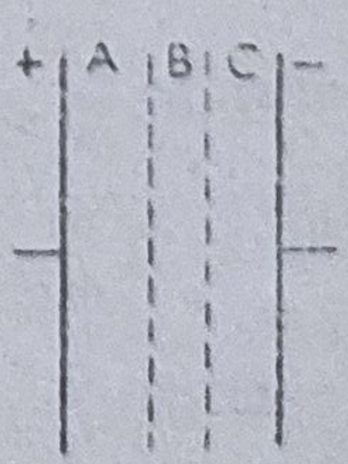


Fig. 29.11.—R

exterior și firul rămîne în repaus. La îndepărtarea sarcinii pozitive, firul este atras de sarcina negativă de pe pereții balonului. La incandescență slabă, firul emite foarte puțini electroni. La incandescență maximă, electronii care se deplasează între electrozi ionizează resturile de gaz. Datorită prezenței ionilor, volumul interior devine conductor și de aceea cîmpul electric din interior lipsește.

28.8. 3,1 eV

28.9. 0,15 A

28.10. 0,12 V

29.1. $v > 2\sqrt{\frac{\varphi e}{m}} = 1{,}28 \cdot 10^6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

29.2. a) $U \geqslant 13{,}56$ V ; b) $U \geqslant \varphi(n+1) = 67{,}8$ V

29.3. La început fișia este atrasă pentru că pe ea se formează la electrizarea prin influență sarcini de semn contrar celor de pe vîrful ascuțit. Cînd tensiunea atinge o asemenea valoare încît energia corespunzătoare lucrului mecanic al forțelor electrice pe drumul liber este suficientă pentru ionizarea moleculelor aerului, se naște vîntul ionic, fișia se încarcă cu sarcini de același semn cu vîrful ascuțit și este respinsă.

29.4. Dacă ω este viteza unghiulară de rotație a ionilor, m_1 și m_2 masele lor, x distanța de la primul ion pînă la centrul de masă al sistemului, atunci energiile ionilor sînt $\frac{1}{2} m_1\omega^2x^2$ și $\frac{1}{2} m_2\omega^2(b-x)^2$. Cu condiția $\frac{1}{2} m_1\omega^2x^2 + \frac{1}{2} m_2\omega^2(b-x)^2 = \frac{3}{2} kT$, forțele centripete fiind $m_1\omega^2x = m_2\omega^2(b-x) = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 b^2}$ unde e este sarcina ionului, rezultă $b \approx 2 \cdot 10^{-6}$ cm, unde ε_0 este permitivitatea vidului.

29.5. $3{,}4 \cdot 10^8$ cm^{-3}

29.6. $4{,}78 \frac{\mu a}{\text{km}^2}$

29.7. $2{,}5 \cdot 10^7$ cm$^{-3} \cdot$s^{-1}

29.8. 17 000 ori

29.9. a) Deasupra oceanului $n = 790$ cm^{-3} ; deasupra uscatului : $n = 800$ cm^{-3}. b) Deasupra oceanului 14 m și 19,7 m ; deasupra uscatului : 178 cm și 248 cm.

29.10. a) $t = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0}\right) = 62$ s ; b) $t = \frac{1}{\beta} \ln \frac{n_0}{n} = 460$ s

29.11. a) Lărgimea zonei A de unde toți ionii negativi ajung la anod este $\frac{U}{d} : k_+ = \frac{U_n}{dq} k_+$; Lărgimea zonei C este $\frac{Un}{dq} k_-$ (figura 29.11—R). În zona mijlocie B are loc recombinarea. La saturație zona B dispare și lărgimea comună a zonelor A și C devine egală cu d. De aici $\frac{U}{d} = \frac{qd}{n(k_+ + k_-)}$. Substituind această expresie în relația $j = en(k_+ + k_-)\frac{U}{d}$ obținem $j = eqd$; b) $U_0 = \frac{d^2q}{n(k_+ + k_-)} = \frac{d^2\sqrt{q\alpha}}{k_+ + k_-} = 11$ V. Acest re-

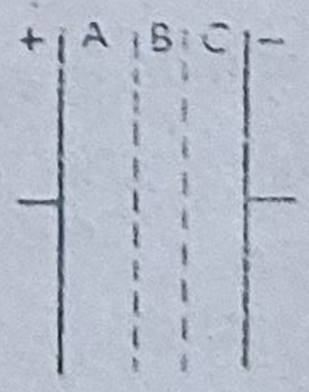


Fig. 29.11.—R

zultat nu este exact pentru că nu s-a luat în considerație influența sarcinilor spațiale și faptul că $\tau = \frac{n}{q}$ este numai durata medie de viață a ionilor. De fapt, saturația se obține pentru tensiuni mai înalte decît cele găsite cu formula respectivă.

29.14. Forța rezultantă este nulă, deoarece electronii mărindu-și viteza, atrag la rîndul lor anodul.

30.2. 15,5 μm

30.3. 0,203 g

30.4. $m = \frac{\mu It}{2F} = 0{,}045$ g (μ este masa moleculară a apei).

30.5. Numărul moleculelor de sare pe cm^3 de soluție este $n = \frac{N}{\mu}$ unde μ este masa moleculară, N numărul lui Avogadro ; $\alpha = 0{,}77$.

30.6. $0{,}313\ (\Omega \cdot cm)^{-1}$

30.7. $2{,}8 \cdot 10^{-8}$ cm

30.8. a) $4{,}6 \cdot 10^{4}$ N ; b) $6 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s}$

30.9. $29{,}26 \frac{MJ}{kmol}$

31.1. $1{,}42 \cdot 10^{-4}$ N·m

31.2. a) 6 $A \cdot m^2$; b) 4,2 $A \cdot m^2$; c) 2 $A \cdot m^2$; d) zero

31.3. $p = I(\omega_1 S_1 + \omega_2 S_2 \cos \alpha)$ α — unghiul axelor celor două spirale.

31.4. $700 \frac{A}{m}$

31.5. Se va micșora de două ori.

31.6. a) Nu ; b) $L = \frac{2pm}{e} = 5{,}6 \cdot 10^{-11} \frac{kgm^2}{s}$ unde m și e sînt masa și sarcina electronului.

31.8. Dacă conductorul prin care circulă curentul I_3 este situat la mijloc, problema nu are soluție. Dacă acest conductor este situat la margine, atunci poziția căutată este situată la 1 cm de conductorul din mijloc.

31.9. La distanța de 4 cm spre răsărit.

31.10. a) Cu 2,1 cm mai jos de conductor ; cu 5,6 cm mai spre sud. b) $72 \frac{A}{m}$ și $50{,}4 \frac{A}{m}$.

31.11. $56 \frac{A}{m}$

31.12. $80 \frac{A}{m}$

31.13. $384 \frac{A}{m}$

31.14. $27{,}2 \frac{A}{m}$

31.15. $1{,}52\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$

31.16. a) $64\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$; b) $\frac{IR^2}{2\sqrt{(a^2+R^2)^3}} = 26\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$

31.17. Zero

31.18. a) $7\,000\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$; b) $3\,500\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$

31.19. Pentru rezolvare, se va folosi răspunsul de la problema 31.16. b) avînd în vedere că pe porțiunea dx (vezi figura 31.19—R) valoarea curentului este In_1dx și luînd pentru simplificare $\frac{R}{\sqrt{x^2+R^2}} = \sin\alpha$ și $x = R\,\text{ctg}\,\alpha$, obținem pentru cazul a): $H = \frac{n_1 I}{\sqrt{1+n^2}} = 485\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$ și pentru cazul b) $H = \frac{n_1 I}{\sqrt{4+n^2}} = 450\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$.

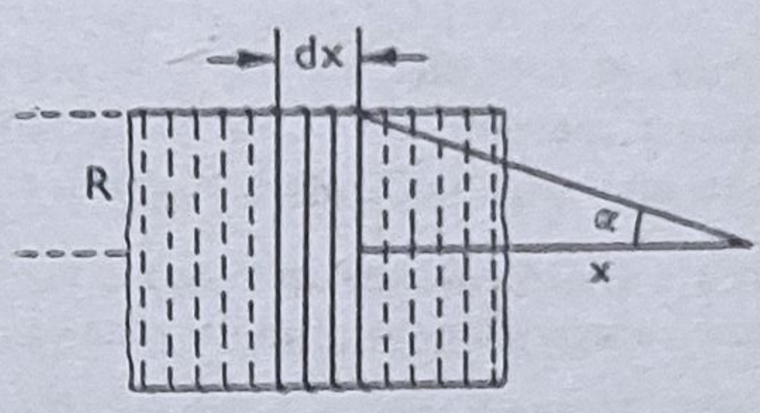


Fig. 31.19.—R

31.20. Soluția se obține ușor pe baza răspunsului de la problema 31.16. b) dacă se ia în considerație că $a \gg R$ se obține $H = 7{,}7\cdot10^{-2}\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$.

31.21. $\Phi = \frac{\mu}{2\pi}\,blN\,\ln\frac{R_2}{R_1} = 3{,}5\cdot10^{-6}$ Wb

31.22. Faptul că circulația intensității cîmpului magnetic pămîntesc este diferită de zero demonstrează existența unor curenți electrici verticali în atmosferă. Pentru porțiunile de pe pămînt, pentru care circulația în sensul acelor ceasornicului este pozitivă, suma curenților cu sensul în jos este mai mare decît suma curenților cu sensul în sus.

31.23. a) 8 A ; b) 16 A ; c) zero.

31.24. Se va folosi teorema referitoare la circulația intensității cîmpului magnetic.

31.25. a) Cîmpul din jurul unui conductor subțire și cîmpul din exteriorul unui conductor tubular este același ca în cazul unui conductor lung, subțire. În interiorul conductorului tubular, cîmpul lipsește. b) În exteriorul sferei există un cîmp condiționat de prezența curentului în conductor cu sensul spre sferă. Curentul care circulă de la sferă nu are cîmp magnetic.

31.26. $\Phi = \frac{\mu_0 Il\,\ln\frac{R_2}{R_1}}{2\pi} = 3{,}13\cdot10^{-4}$ Wb.

31.27. a) $H = \frac{Ir}{2\pi R^2} = 10^3\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$; b) $\Phi = \mu\,\frac{Il}{4\pi} = 1{,}5\cdot10^{-4}$ Wb.

31.28. $H = \frac{jd}{2}$. Cîmpul în cavitate este omogen. Vectorul intensitate este perpendicular pe vectorii j și d.

31.29. a) $5\cdot10^3\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$; b) $20\,\frac{\text{A}}{\text{m}}$; c) liniile de forță nu sînt închise.

31.30. $B = 9{,}35\cdot10^{-3}\,\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$

31.31. Nu se va rupe. Pentru rupere este necesară inducţia $B = 4 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

31.32. 120 N

31.34. Rezultatul problemei 31.33 se referă la cazul densităţilor de curent egale în orice secţiune transversală a conductorului. Fiindcă aceasta este greu de realizat în conductori groşi se vor prefera conductori subţiri.

31.35. $F = 5{,}8 \cdot 10^{-9}$ N

31.36. Bobinele tind să se aşeze astfel încît cîmpurile lor magnetice să aibă aceeaşi direcţie. În cazul diferenţelor mari ale diametrelor bobinelor, coincidenţa cîmpurilor are loc numai în interiorul bobinelor imobile şi în afara celei mobile, iar în spaţiul dintre ele cîmpurile au sensuri contrare. De aceea la diferenţă mare a diametrelor forţa de interacţiune reciprocă este mult mai mică decît în cazul cînd diferenţa diametrelor este mică.

31.37. a) Unghiul de deviaţie nu se va schimba. b) Se va micşora dacă dimensiunile acului sînt comparabile cu distanţa pînă la conductor. c) Nu se va schimba.

31.38. Magnetizarea la saturaţie, $B = \mu_0 H + P$ unde P este magnetizarea.

31.39. Valorile lui B şi H căutate se determină în punctul în care dreapta care trece prin origine este tangentă la curba de magnetizare. În cazul dat $B = 0{,}88 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$; $H = 1\,200 \frac{\text{A}}{\text{m}}$.

31.40. $4\,000 \frac{\text{A}}{\text{m}}$

31.41. Mai întîi determinăm pe H, apoi după figura 31. XX găsim pe B. a) $H = 1\,600 \frac{\text{A}}{\text{m}}$;

$B = 1{,}39 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$; b) $H = 1\,280 \frac{\text{A}}{\text{m}}$; $B = 1{,}33 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

31.42. a) Mai întîi calculăm pe H pentru valoarea curentului de 0,6 A după care folosind graficul din figura 31—XX găsim pe B. $\Phi = 8 \cdot 10^{-4}$ Wb.

31.43. $\mu = 1{,}7\,610^{-3} \frac{\text{H}}{\text{m}}$

31.44. Calculăm pe H în primul inel: $H = 640 \frac{\text{A}}{\text{m}}$. Pe curba din figura 31—XX găsim

$B = 1{,}14 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, $I_2 = 11$ A.

31.45. a) $1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$; b) $6{,}3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{H}}{\text{m}}$.

31.46. Cel din dreapta.

31.48. $3{,}7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; 3 900 eV

31.49. $v = \frac{eB}{2\pi m} \sqrt{h^2 + 4\pi^2 R^2} = 7{,}6 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

31.50. Viteza electronului trebuie să fie perpendiculară pe planul vectorilor E şi B şi egală cu $v = \frac{E}{B} = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

31.51. a) $a_n = 0$; $a_t = \frac{eE}{\text{m}}$; b) $a_t = 0$; $a_n = \frac{e}{m} \sqrt{B^2 v^2 + E^2}$

31.52. b) $B = \frac{\sqrt{2Wm}}{eR} = 0{,}48 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$; c) $t = \frac{\sqrt{2Wm}}{2eU}(\pi R + 2d) = 1{,}4 \cdot 10^{-8}$ s.

31.53. Forța este egală cu 0.

32.1. $1{,}57 \cdot 10^{-4}$ J.

32.2. Deloc.

32.3. În cazul al doilea este mai mare.

32.4. Pe seama energiei acumulatorului.

32.5. a) Aceeași. b) În primul caz este mai mare.

32.6. Indicația galvanometrului este mai mare pentru cazul desenat punctat.

32.7. Pe conturul exterior circulă curentul indus. În conductorii radiali nu există curenți

32.8. a) Dielectricul se polarizează. b) În inelul supraconductor apare un curent al cărui flux magnetic însumat cu cel al magnetului este egal cu zero.

32.9. $U = 3{,}8 \cdot 10^{-7}$ Wb

32.10. $1{,}4 \cdot 10^{6}$ s^{-1}

32.11. a) $I_1 = 10^{-3}$ A ; $I_2 = 0$; $I_3 = 10^{-3}$ A ; b) $I_1 = I_2 = 2{,}8 \cdot 10^{-4}$ A ; $I_3 = 5{,}6 \cdot 10^{-4}$ A ; c) $I_1 = 0$, $I_2 = I_3 = 10^{-3}$ A.

32.12. $7{,}4 \cdot 10^{-4}$ A

32.13. În al doilea caz se separă o cantitate de căldură cu 14% iar în al treilea caz, cu 2% mai multă decît în primul caz.

32.14. 0,007 C

32.15. $q = \frac{\mu_0 E S^2}{4\pi\rho^2 l} = 1{,}38 \cdot 10^{-2}$ C

32.16. $q = \frac{B_0 m}{4\rho\pi D} = 0{,}053$ C unde D este densitatea cuprului.

32.17. $3 \cdot 10^{-3}$ Wb

32.18. Se va mări.

32.20. $N = 1\,200$

32.21. $L = 16{,}5$ mH

32.22. a) 1,5 mH ; b) 5 mH

32.23. a) Cîmpurile magnetice ale bobinelor sînt de același sens. b) În sensuri opuse. c) Formează un unghi drept.

32.25. a) 0,81 mH ; b) $\simeq 3{,}5 \cdot 10^{-7}$ H

32.26. a) 1,9 mH ; b) 0,23 mH

32.27. Se determină mai întîi H : $H = 1\,600 \frac{\text{A}}{\text{m}}$. Apoi, după curba de magnetizare găsim pe B și determinăm pe $L \cdot L = 3{,}5$ H ; b) 18,5 H.

32.28. La solenoidul al cărui miez este prezentat jos, intensitatea cîmpului este aceeași în orice punct al secțiunii sale. De aceea, inductanța lui variază în raport cu mărimea curentului după aceeași lege ca și μ. La solenoidul al cărui miez este desenat sus intensitatea cîmpului în părțile apropiate este mai mare decît în cele îndepărtate. De aceea, maximul inductanței este netezit.

32.29. $L = \dfrac{N^2(S_1\mu_1 + S_2\mu_2)}{l}$

32.30. 2,2 mH

32.31. 0,004 s

32.32. Circuitul local se închide după 0,012 s.

32.33. Se va ridica cu 0,8°.

32.34. a) Suprafaţa $OABO$ este egală cu cantitatea de electricitate care a trecut prin drosel în timp de 0,5 s. Suprafaţa $OCAO$ este egală cu $\dfrac{\Phi N}{R}$ unde Φ este fluxul magnetic prin miezul droselului, N fiind numărul spirelor în bobinajul droselului, iar R rezistenţa bobinajului. b) Vom nota suprafaţa $OCAO$ cu litera σ. $B = \dfrac{4\sigma\rho}{Sd}$. După numărul pătrăţelelor circuitului de pe figură care închid suprafaţa $OCAO$ găsim că $\sigma = 0{,}17\ C$ de unde $B = 0{,}23\ \dfrac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

32.35. $U = \dfrac{ER_2}{R_1 + R_2}\, e^{-\frac{R_1+R_2}{L}t} = 0{,}076$ V

32.36. 490 V

32.37. 0,008 s

32.38. 0,19 J

32.39. $3{,}13 \cdot 10^{-3}$ J

32.41. 0,01 s

32.42. $2 \cdot 10^{-5}$ J

32.43. Infinită. Curentul rectiliniu infinit este un caz limită al unui curent rectiliniu finit. Rezultatul obţinut arată că el este irealizabil.

32.44. 0,07 J ; b) Infinită.

32.45. $t_2 = t_1 + \dfrac{2I^2L}{\rho l \pi d^2 c} = 1\,150°\text{C}$

32.46. Formula 32—XI se referă la cazul în care lipseşte fenomenul de hysterezis.

32.47. a) Pe baza relaţiei de la 31—X avem : $H_i l_i + H_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}} = 0$; aici indicii i şi Fe arată că este/ orba de intensitatea cîmpului magnetic H şi lungimea liniilor de forţă 1 în aer (în întrefier) şi în fier (inel). De aici $H_{\text{Fe}} = -104\ \dfrac{\text{A}}{\text{m}}$; b) $-5{,}2\ \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3}$; c) zero.

33.1. 6,3 A

33.2. 3,2 A

33.3. a) $\dfrac{q\pi}{2I\sqrt{2}} = 15$ ore ; b) $\dfrac{q\pi}{2I} = 21$ ore

33.4. a) 57 V ; b) durata luminozităţii electrozilor este 38,5% din timpul de luminare al becului.

33.5. $k = \dfrac{\pi d^2 \nu}{U\sqrt{2}} = 1{,}8\ \dfrac{\text{cm}^2}{\text{s} \cdot \text{V}}$

33.6. a) ampermetrul A_1 indică $I_1 = 0{,}5$ A. Ampermetrul A_2 indică $I_2 = \dfrac{1}{R}\sqrt{U^2 + E^2} =$ $= 1{,}6$ A ; b) $\simeq 2$ kJ.

33.7. $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$; $I_{med} = \frac{I_m}{2}$

33.9. 141 V

33.10. a) 6,4 μF ; b) 0,0064 μF

33.11. 0,055 H

33.121 $\nu = 1\,600$ Hz

33.13. a) $I = \frac{B\pi^2 d_1^3 n}{\sqrt{8(R^2 + \omega^2 L^2)}}$ unde $R = \frac{4\rho d_1}{d_2^2} = 6{,}8 \cdot 10^{-3}\ \Omega$; $\omega L = 3{,}08 \cdot 10^{-5}\ \Omega$,

deoarece $\omega L \ll R$, neglijînd $\omega^2 L^2$ în comparație cu R^2 avem :

$I = \frac{\sqrt{2}\ B\pi^2 d_1 d_2^2 n}{16\rho} = 0{,}072$ A ; b) $I = \frac{\sqrt{2}\ B\pi d_1^2}{8L} = 16$ A.

33.14. În cazul curentului continuu puterea este de 1,2 ori mai mare.

33.15. a) Nu ; b) da.

33.18. $I = 0{,}5$ A ; Tensiunea la bornele condensatorului este 80 V, la bornele rezistenței 75 V.

33.19. 1,6 H

33.20. 0,75 A

33.21. 1,7 A ; 5,4 A

33.22. a) 100 μF ; b) 25 V

33.23. 31,7°

33.24. 3,2 kW

33.25. $P_1 = \frac{U_1^2}{R} = 97$ W ; $P_2 = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2R} = 105$ W

33.26. 154 W ; 312 W

33.27. 27 W

33.28. a) $U_1 = \sqrt{U^2 - I^2 L^2 \omega^2} - IR_0 = 114$ V. b) Puterea consumată de la rețea în apartament (incluzînd și droselul) este $P = \frac{U^2(R + R_0)}{(R + R_0)^2 + L^2\omega^2}$ unde R este rezistența întregii rețele fără drosel, de unde $P_{max} = \frac{U^2}{2L\omega} = 460$ W. c) La scurtcircuit $P_{sc} = 58$ W.

33.29. a) Numărul pătrățelelor cuprinse în interiorul curbei de hysterezis este aproximativ

38. De aici $P \simeq 15{,}2$ W ; b) 4,5 Ω

33.30. $5{,}6 \cdot 10^8$ Hz

33.31. $1{,}28 \cdot 10^9\ \Omega \cdot$cm

33.32. $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ N

33.33. Interacționează cu o forță care variază sinusoidal cu o frecvență de 3 Hz.

33.34. $F = \frac{B_m^2 S}{4\mu} = 40$ N unde μ este permeabilitatea magnetică a aerului.

33.35. Forța cu care este atrasă membrana de polii magnetului este $F = \frac{S}{\mu}(B_0 + B)^2 \simeq$

$\simeq \frac{S}{\mu}(B_0^2 + 2BB_0)$. Ne interesează numai componenta alternativă, deoarece ea provoacă

oscilațiile membranei: $F_1 = \frac{2SBB_0}{\mu}$. Neglijînd toate rezistențele magnetice în afara celei a aerului din interval, avem $B = \frac{NI\mu}{2l}$ de unde, amplitudinea forței F_1 este $F_{1m} = \frac{SB_0NI_m}{l} =$ $= 4{,}8 \cdot 10^{-4}$ N.

33.36. 44,4°

34.1. $4{,}7 \cdot 10^{-4}$ s

34.2. $I = U_0 \sqrt{\frac{C}{2L}} = 44$ mA ; b) $\varphi_{max} \simeq 1{,}1 \cdot 10^{-8}$ Wb

34.3. 10^{-8} W.

34.4. a) Nu ; b) da.

34.5. Nu se schimbă.

34.6. $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 2{,}5 \cdot 10^{-5}$

34.7. $\theta = 2\pi \frac{P}{U^2} \sqrt{\frac{L}{C}} = 0{,}02$

34.8. $\theta = \frac{\pi B}{\sqrt{n^2 - 1}(1 + \beta)} = 0{,}028$

34.9. a) $W = \frac{E^2(L + CR_1^2)}{2(R_1 + R_2)^2} = 3{,}8 \cdot 10^{-5}$ J ; b) $7 \cdot 10^{-7}$ J

34.10. a) $\theta = 2\pi \sqrt{\frac{R^2C}{4L - R^2C}} = 0{,}2\pi = 0{,}63$. b) Maximul curentului are loc pentru faza ωt_1 determinată din relația $\operatorname{tg} \omega t_1 = \frac{4\pi}{\theta}$; $\omega t_1 = 87{,}1°$. De la începutul oscilației pînă la obținerea valorii maxime a curentului, vor trece 0,24 perioade. Tensiunea între armăturile condensatorului este $U = I\left(\frac{R}{2} + \frac{L\omega}{\operatorname{tg} \omega t_1}\right) = I_m R$. Raportul dintre energia cîmpului magnetic și a celui electric în acest moment este $\frac{L}{CR^2} = 25$. c) Maximul intensității are loc pentru $\frac{dU}{dt} = -\frac{I}{C} = 0$ adică pentru $I = 0$. Tensiunea este nulă pentru $\operatorname{tg} \omega t_2 = -\frac{4\pi}{\theta}$; $= 92{,}9°$. Aceasta reprezintă 0,26 perioade. d) $[U_{max} = \frac{I_0 \pi R}{\theta} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$. Pentru $t = 0$, $U = \frac{I_0 \pi P}{\theta}$, de unde $I_0 = 0{,}05$ A.

35.1. $\simeq 2 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2}$

35.2. 1 340 $\frac{m}{s}$

35.3. $-1{,}9 \cdot 10^{-3}$ grd^{-1}

35.4. Datorită vitezelor diferite de propagare a undelor longitudinale și transversale.

35.5. 13,25°

35.6. 31,4 s

35.7. 1,42

35.8. Viteza sunetului este de 1,236 ori mai mică decît viteza medie a moleculelor gazului ideal monoatomic; pentru cel biatomic de 1,349 ori.

35.10. a) 212 Hz; b) 106 Hz

35.11. 20°C

35.12. 398 Hz

35.13. 20 cm; 6,6 mm sau 3,4 mm

35.14. 0,05

35.15. 2 040 Hz; 6 120 Hz; 10 200 Hz

35.16. a) $5{,}2 \cdot 10^{-8}$ J; $2{,}4 \cdot 10^{-5} \frac{J}{m^3}$; $4.8 \cdot 10^{-5} \frac{J}{m^3}$

35.17. 1,24 W

35.18. $8 \cdot 10^{-7} \frac{J}{m^2 s}$

35.19. 17,6 Hz

35.20. 11,3 km

35.21. $2{,}1 \cdot 10^{8} \frac{m}{s}$

35.22. a) Nu; f) $7{,}4 \cdot 10^{7}$ Hz

35.23. $8{,}4 \cdot 10^{-6} \frac{V}{cm}$.

35.24. La distanţa de 21,8 km faţă de observatorul din mijloc.

35.25. b) $x = \frac{\lambda}{2 \sin u} = 17$ mm

35.26. Forţa de interacţiune electrică este de m^2 ori mai mare decît forţa interacţiunilor magnetice.

36.1. a) $4{,}7 \cdot 10^{-3}$; b) $4{,}7 \cdot 10^{-9}$

36.2. $8{,}7 \cdot 10^{-7}$ m

36.3. 27,76°C

36.4. Faptul că vorbirea este sau nu inteligibilă depinde de prezenţa frecvenţelor înalte. Coeficientul de absorbţie în aer al frecvenţelor înalte este mai mare decît al celor joase. De aceea frecvenţele superioare slăbesc mai repede în intensitate.

36.5. a) 1,26; b) 1,12

36.6. $10^{-4} \frac{N}{m^2}$

36.7. 36,7 dB

36.8. a) 26 dB; b) 100 m

6.9. 0,12 s^{-1}

36.10. a) 1) Frecvența 256 Hz ; pragul audibilității ; amplitudinea presiunii $\Delta p_1 = 5 \cdot 10^{-4} \frac{N}{m^2}$, intensitatea sunetului $J_1 = 3 \cdot 10^{-10} \frac{J}{m^2 s}$, limita superioară $\Delta p_2 = 200 \frac{N}{m^2}$; $J_2 = 50 \frac{J}{m^2 s}$.

2) Frecvența de 2 048 Hz ; $\Delta p_1 = 3 \cdot 10^{-5} \frac{N}{m^2}$; $J_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-12} \frac{J}{m^2 s}$; $\Delta p_2 = 160 \frac{N}{m^2}$; $J_2 = 30 \frac{J}{m^2 s}$.

b) Frecvența de 32 Hz nu se aude ; frecvența de 2 048 Hz are nivelul de 70 db ; c) $\simeq$ 20 db ; d) $\simeq 3 \cdot 10^{-4}$ W.

36.12. 680 Hz

36.13. a) și b) $72 \frac{km}{h}$

36.14. a) 1,88 s ; b) 2,12 s

37.1. a) $0{,}0033 \frac{W}{lm}$; b) $0{,}0023 \frac{W}{lm}$

37.2. 15,3 lx

37.3. 9 lx

37.4. Se va mări de 1,12 ori.

37.5. 25 000 cd

37.6. a) 10,2 lx ; b) 10,9 lx

37.7. a) $\simeq$ 10 lx. b) Distanței de 7 m, îi corespunde unghiul cu verticala de 64,5°. De pe curba I se vede că intensitatea luminoasă în această direcție este 73 cd. Luminarea este $\simeq$ 1,7 lx. c) $\simeq$ 7,7 lx și 1,3 lx.

37.9. 6 s

37.10. 46 s

37.12. 30,4 lx

37.13. $E = \frac{F}{2\pi al} = 700$ lx

37.14. 7 000 nt

37.15. a) $h = b$; $E_{max} = \frac{SB}{4b^2} = 41$ lx ; b) 11,5 lx

37.16. $5{,}3 \cdot 10^6$ lx

37.17. a) 40 lx ; b) 12,7 nt

37.18. 5%

37.19. a) 1,27 lx ; b) 0,72 lx

38.1. a) $x = 25\ r \sin \alpha = 10{,}6$ cm. b) Se va propaga în direcții opuse la distanța $y = l \cos \alpha = 1{,}7$ cm.

38.2. 0,02 cd

38.4. a) La distanța de 120 cm de la vîrful oglinzii. b) 1 cd.

38.5. Din condiția $\frac{R}{2} - BO = \frac{R}{2} \cdot 0{,}01$ rezultă: $CB = 0{,}505\ R$. Dar (vezi figura 38.5—R), $CB = \frac{R^2}{2\sqrt{R^2 - a^2}}$, de unde $\frac{a}{R} = 0{,}14$.

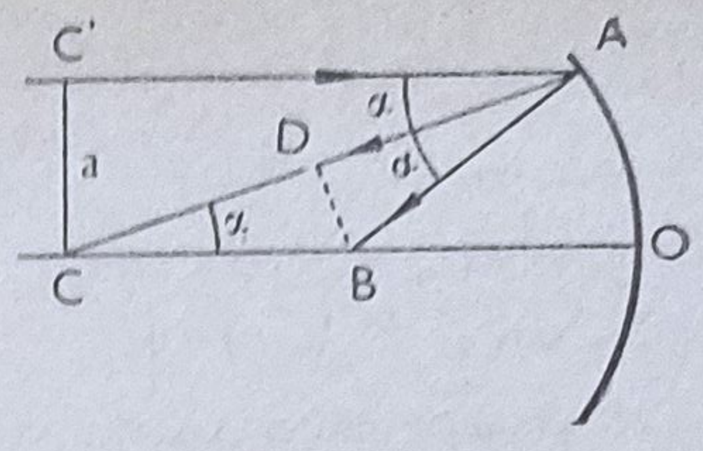


Fig. 38.5.—R

38.7. 24 cm

38.9. Oglinda trebuie să formeze cu orizontala un unghi de 34°.

38.10. 61°18′

38.11. a) Pentru demonstrație vom alege trei raze într-un plan vertical XY a cărui axă Y este conținută în planul suprafeței apei (vezi figura 38.11—R). Ecuațiile razelor în interiorul apei au forma

$y = x \operatorname{tg} \alpha_1 + b_1$;
$y = x \operatorname{tg} \alpha_2 + b_2$;
$y = x \operatorname{tg} \alpha_3 + b_3$. Întrucît ele pleacă dintr-un punct comun S,

atunci are loc relația $\begin{vmatrix} 1 & \operatorname{tg} \alpha_1 & b_1 \\ 1 & \operatorname{tg} \alpha_2 & b_2 \\ 1 & \operatorname{tg} \alpha_3 & b_3 \end{vmatrix} = 0$. Ecuațiile razelor

refractate sînt $y = x \operatorname{tg} \beta_1 + b_1$;
$y = x \operatorname{tg} \beta_2 + b_2$;
$y = x \operatorname{tg} \beta_3 + b_3$. Deoarece $\operatorname{tg} \alpha_1 : \operatorname{tg} \alpha_2 : \operatorname{tg} \alpha_3 \neq \operatorname{tg} \beta_1 : \operatorname{tg} \beta_2 : \operatorname{tg} \beta_3$

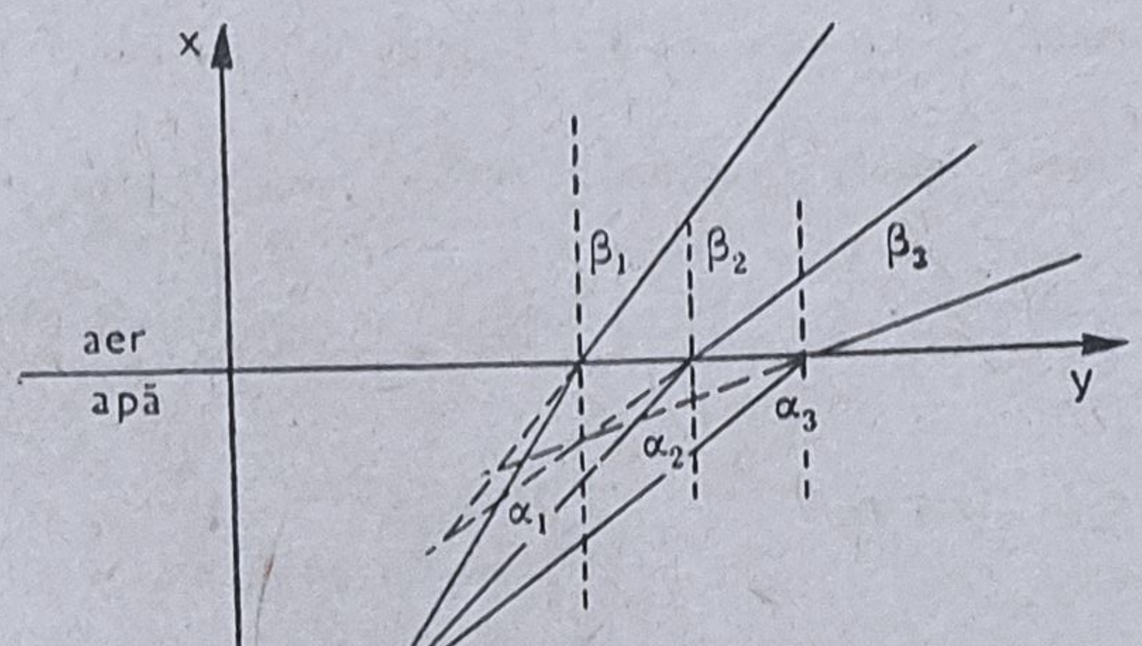


Fig. 38,11,—R

atunci $\begin{vmatrix} 1 & \operatorname{tg} \beta_1 & b_1 \\ 1 & \operatorname{tg} \beta_2 & b_2 \\ 1 & \operatorname{tg} \beta_3 & b_3 \end{vmatrix} \neq 0$. Aceasta demonstrează că razele refractate nu au un punct comun.

38.12. Fiindcă ochii observatorului se află la o anumită înălțime, imaginea poziției obiectului se află pe aceeași verticală cu obiectul. Avînd în vedere acest fapt, se găsește $h_0 = h\sqrt{\frac{(n^2-1)l^2}{(H+h)^2} + 1} = 2\text{m}$.

38.13. 32 cm

38.14. a) Da. b) Nu.

38.15. 2 cm

38.16. 1,14 cd

38.19. a) 81° ; b) $\sqrt{2} < n < 2$

38.20. 16°r

38.21. Unghiul dintre laturile vecine ale prismelor trebuie să fie $A + \delta_m$.

38.22. 10,9°r

38.23. Razele ies din prismă paralele cu direcţia razelor incidente, distanţa dintre ele rămînînd aceeaşi. Lungimile razelor în prismă sînt egale.

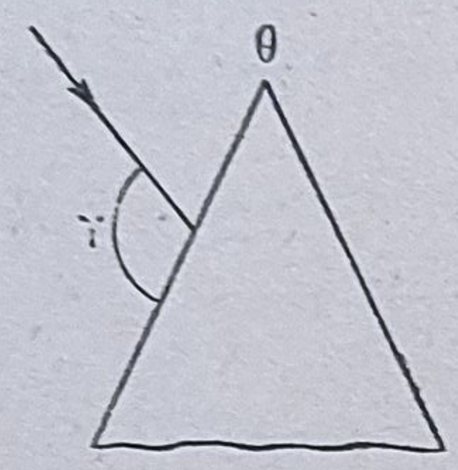


Fig. 38.24.

38.24. a) Raza nu trece pentru nici o valoare a unghiului de incidenţă. b) Raza trece cu condiţia $0 < \gamma < \frac{\pi}{2}$ unde γ este unghiul indicat în figura 38.24—R. c) Raza trece dacă $0 < \gamma < \frac{\pi}{2} +$ + arc sin n sin $(\beta_0 - \theta)$.

38.25. În prismele hexagonale feţele fac între ele unghiuri de 120°, 60° şi 90°. Haloul de 22° corespunde unghiului de 60° iar cel de 46° unghiului de 90°.

38.26. Deviaţia minimă este $\delta_{min} = 38°56'$. Deviaţia maximă are loc cînd raza iese din prismă sub un unghi apropiat de $\frac{\pi}{2}$. În acest caz pe prima faţă unghiul de incidenţă este $\varepsilon_{max} + \theta - \frac{\pi}{2}$ iar unghiul de refracţie este $\theta - \beta_0$ unde unghiul limită β_0 pentru $n = 1{,}52$ este 41°8'. Aplicînd legile refracţiei avem $n \sin(\theta - \beta_0) = \sin\left(\delta_{max} + \theta - \frac{\pi}{2}\right)$ de unde, $\delta_{max} = 59°26'$.

38.27. 1,333

38.28. 12,5 cm

38.29. $C_1 = 5{,}2\ D$; $C_2 = -3{,}9\ D$

38.30. 1,48 D

38.31. 1,7

38.32. —38,5 cm

38.33. 22,5 cm

38.38. 4 D

38.39. Cu 0,55 mm

38.40. 20 cm

38.41. Imaginea mai mică are o strălucire mai mare de $\left(\frac{d+b}{d-b}\right)^2 = 2{,}25$ ori.

38.43. a) 2 500 lx şi 12 500 lx ; b) 5 000 lx şi 15 000 lx.

38.44. De 660 ori

38.45. 9 lx

38.46. a) $C > 0$ dacă $\delta < 0$ adică focarul posterior al primei lentile F_1'' este mai departe de focarul anterior al celei de-a doua lentile; $C < 0$ dacă F_1'' este mai apropape decît F_2', $C = 0$ dacă F_1'' și F_2' coincid. b) $C > 0$ dacă $\delta > 0$ adică F_1'' se află mai aproape de F_2' (la lentila divergentă focarul anterior se află în spatele lentilei). $C < 0$ dacă F_1'' se află mai departe ca F_2'; $C = 0$ dacă F_2'' și F_2' coincid. c) La fel ca la punctul b. d) δ întotdeauna este pozitivă și sistemul poate avea doar convergență negativă.

38.47. a) La distanța de 8 cm; b) la distanța de 20 cm.

38.48. 60 D

38.49. Să se mărească de 3,7 ori.

38.50. 7 D

38.54. a) Primul plan principal trece prin vîrful suprafeței anterioare a lentilei; primul plan focal se află la 25 cm în raport cu lentila. Al doilea plan principal trece prin interiorul lentilei la distanța de 2,3 cm de suprafața plană; al doilea plan focal se află la 22,7 cm de lentilă. b) Planele principale trec prin interiorul lentilei la distanța de 1,2 cm de vîrfurile fețelor. Planele focale se găsesc la 22,7 cm față de fețele lentilei. c) Primul plan principal este situat în afara lentilei, la distanța de 1,9 cm de suprafața anterioară. Al doilea plan principal se află tot în afara lentilei, la distanța de 0,4 cm de suprafața ei. Primul plan focal se află la 22,9 cm de lentilă. Al doilea plan focal se află la 17,1 cm de suprafața lentilei. d) Primul plan principal se află în fața lentilei la distanța de 2,8 cm de suprafața ei. Primul plan focal se află la 24,4 cm de suprafața posterioară a lentilei. Al doilea plan principal se află în afara lentilei la distanța de 2,1 cm de suprafața ei. Al doilea plan focal trece prin fața lentilei la distanța de 32,8 cm de suprafața ei.

38.55. 29,2 cm

38.56. 1,93 D

38.57. 5,8 cm

38.58. a) 17,2 D; b) 20,8 D; c) 19,0 D

38.59. a) Suprafețele sferelor trebuie să se afle la 2,5 cm una de alta; b) 10.

38.61. a) 10 cm; b) 2,5

38.62. 5

38.63. a) 14,5 cm; 17,5 cm; b) 64; 670

38.64. 564.

38.65. a) Mărirea trebuie să fie 0,4; b) 12 D și 30 D; c) Montura ocularului.

38.68. 9 cm

38.69. 5,8 mm

39.2. a) Folosim formula 39—I. Din figura 39.2—R se vede că în cazul dat $l = L + r \cos \alpha$. Mai departe, pe baza răspunsului de la problema 38.1 avem $d = 2r \sin \alpha$. De aici luînd pentru aer $n_1 = 1$ găsim $x = \dfrac{\lambda(L + r \cos \alpha)}{2r \sin \alpha} = 2{,}9$ mm; b) Se va deplasa la distanța $s' = s\dfrac{L}{r} = 5{,}4$ cm; c) Imaginea franjelor nu se va deplasa dar interfranja se va micșora de 2 ori.

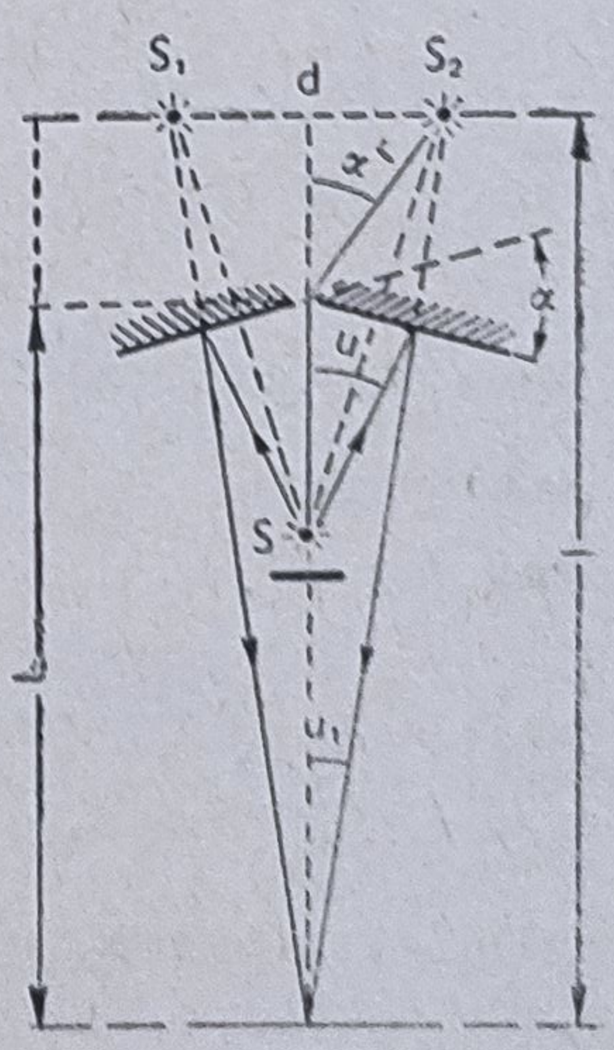


Fig. 39.2.—R

d) Folosind răspunsul de la punctul *b* vom obține că deplasarea franjelor date de marginea stîngă a fantei față de cele date de marginea ei din dreapta este $s' = b\frac{L}{r}$ unde b este lățimea fantei. Dar, din condiția de la punctul d), s' este mai mic decît jumătatea interfranjei. De aici, $b\frac{L}{r} < \frac{\lambda(L + r\cos\alpha)}{4r\sin\alpha}$. Deoarece α și u sînt mici, atunci din figură se poate deduce că $\sin\alpha = \sin u\frac{L+r}{L}$. În acest caz $b < \frac{\lambda}{4\sin u}$. e) 0,052 mm.

f) 5 franje.

39.3. —3. $\delta = \pi - \frac{\lambda(L+d)}{xd(n-1)} = 179{,}5°$.

39.4. b) 1,1 mm; c) Mai puțin de 0,024 mm. d) 18 franje.

39.5. Problema este nedeterminată. Membrana de săpun poate avea grosimea $k \cdot 104$ nm, unde $k = 1, 3, 5, \ldots$

39.6. Folosind figura 39.6—R se poate găsi că mărirea grosimii membranei, de la o franjă la alta, este $\delta = l\varphi = \frac{\lambda}{2n}$, de unde $\varphi = \frac{\lambda}{2nl} = 9''$.

39.7. Ochiul este focalizat pe membrană. Luînd în considerație că $a \gg d$, găsim după figura 39.7—R $\sin u = \frac{d\,\mathrm{tg}\,\beta\cos\alpha}{a}$ de unde, folosind relația 39.II găsim $d_m = \frac{a\lambda\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}{2b\sin 2\alpha} = 3{,}3 \cdot 10^{-3}$mm.

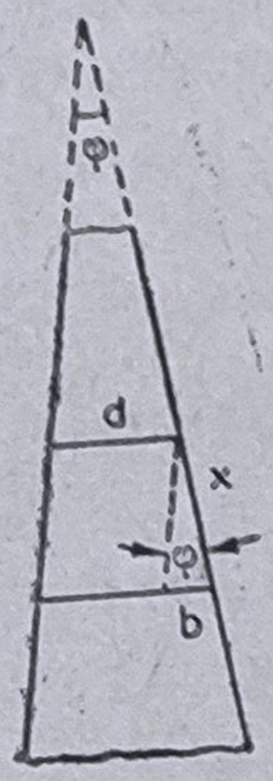


Fig. 39.6.—R

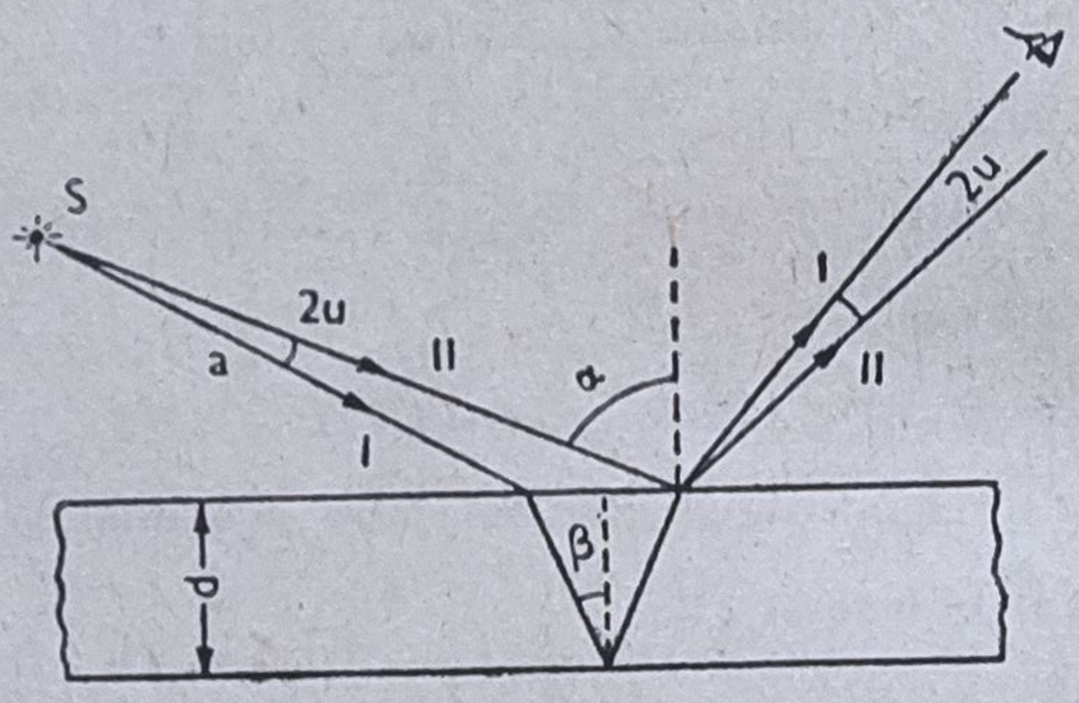


Fig. 39.7.—R

39.9. 10,2 cm

39.10. a) $r = \sqrt{\frac{2k\lambda(n-1)}{\rho}} = 3{,}5$ mm; b) 3 mm.

39.11. 175 mm

39.13. Al 998-lea inel corespunzător celei mai mici lungimi de undă.

39.15. Deoarece numărul zonelor Fresnel este $n = \frac{d^2}{4\lambda}\frac{l}{a(l-a)} = 2{,}94 \simeq 3$, atunci iluminarea în prezența paravanului este mai mare decît fără el.

39.17. Nu. Unghiul φ' în interiorul sticlei corespunde lungimii de undă λ' în sticlă; $c \sin \varphi' = k\lambda'$. La ieşirea razei din sticlă aceasta se refractă: $\sin \varphi' = \frac{\sin \varphi}{n}$ unde φ este măsura unghiului de deviaţie în aer: $c \sin \varphi = k\lambda' n = k\lambda$ unde λ este lungimea de undă în aer.

39.19. 546 nm

39.20. a) 7′; b) —56′

39.21. 478 nm

39.22. a) 3; b) 5

39.25. Dacă grosimea plăcii este mare în comparaţie cu constanta reţelei se poate considera că, pe cea de-a doua reţea cad fascicule de raze a căror lărgime este egală cu lungimea reţelei. În acest caz, lumina trece prin două reţele formînd acelaşi spectru de difracţie ca şi în cazul plăcii cu o singură reţea. b) Dacă grosimea plăcii este egală cu constanta reţelelor, atunci în afara luminii care cade în direcţie normală, lumina va trece numai în acele direcţii care satisfac relaţia $\cos \varphi = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{\lambda}{n}$ unde k_1 şi k_2 sînt numere întregi iar n este indicele de refracţie.

39.26. a) Constanta reţelei din cristalul de clorură de sodiu se poate determina din relaţia $d = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2N\rho}}$ unde μ este masa kilomolară, N numărul lui Avogadro, ρ densitatea. De aici: $\lambda = \frac{\sin \theta}{k} \sqrt[3]{\frac{4\mu}{N\rho}} = 0{,}58$ Å; b) Pentru faţa (1.1.0) $d_1 = \frac{d}{\sqrt{2}}$, de unde $\theta' = 8{,}4°$.

39.27. 9,8 mm.

39.28. Pentru diametre mari ale pupilei acuitatea vederii este slabă datorită aberaţiilor sferice mari ale ochiului. Pentru diametre mici apar fenomene de difracţie care deformează imaginea.

39.29. Corespund pentru o vedere bună.

39.30. 4 cm

39.31. a) 1,6; b) 1,272

39.32. 41°15′

39.33. 66°40′; 46°40′

39.34. Raza 1. Polarizată total. Intensitatea ei este 0,1. Raza 2. După prima refracţie iese o rază care conţine 0,8 din lumina naturală şi 0,1 lumină polarizată. Raza 3. Total polarizată. Intensitatea $0{,}8 \cdot 0{,}1 = 0{,}08$. Raza 4. Parţial polarizată; 0,18 lumină polarizată şi 0,63 lumină naturală.

39.35. a) 12 ori; b) 65 ori.

39.36. a) Numărul n nu depinde de absorbţia luminii în plăci, întrucît el este acelaşi şi pentru lumină polarizată şi pentru lumină naturală. De aceea, vom lua coeficientul de absorbţie egal cu zero. Dacă prin lame a trecut p lumina polarizată şi $1 - p$ lumină naturală atunci, intensitatea comună pînă la pachetul de lame era de $2p + 1 - p = 1 + p$. În acest fel, intensitatea luminii polarizate reprezintă $\frac{p}{1+p}$ din intensitatea iniţială, iar a celei naturale $\frac{1-p}{1+p}$ din cea iniţială. De aici, se poate deduce că intensitatea luminii care a trecut prin

două pachete de lame paralele este $\frac{1+p^2}{(1+p)^2}$ din cea inițială, iar pentru cele încrucișate este $\frac{1-p}{(1+p)^2}$. În acest caz $n = \frac{1+p^2}{1-p}$. De unde $p = -\frac{n}{2} + \sqrt{\frac{n^2}{4} + n - 1} = 0{,}89$;

b) $p' = \frac{2p}{1+p^2} = 0{,}994$.

39.37. 6,06 mm

39.38. Observatorul vede franje întunecate pe fond luminos. Interfranja este 2,7 cm.

39.39. b) 80 cm

40.1. a) $3{,}31 \cdot 10^{-19}$ J; b) $1{,}99 \cdot 10^{-15}$ J; 48 000 K și $2{,}9 \cdot 10^{8}$ K.

40.2. $4 \cdot 10^{5}$ $cm^{-2}\ s^{-1}$

40.3. a) 197 nm (ultraviolet). b) 653 nm (partea roșie a spectrului).

40.4. $6{,}5 \cdot 10^{5}\ \frac{m}{s}$

40.5. 3,6.

40.6. 12,41 kV·Å

40.7. 45 kV

40.8. a) $4{,}5 \cdot 10^{-6}\ \frac{N}{m^2}$; b) $9 \cdot 10^{-6}\ \frac{N}{m^2}$; c) $6{,}3 \cdot 10^{-7}\ \frac{N}{m^2}$

40.9. Presiunea luminii este mai mare de 11 ori.

40.10. a) În direcția luminii. b) După normală.

40.11. Dacă placa este întoarsă spre lumină cu partea lucioasă, asupra ei acționează forța $F_1 = \frac{2IS}{c}$ unde S este suprafața ei. Dacă este întoarsă spre lumină cu fața absorbantă, atunci forța datorită presiunii luminii este $F' = \frac{IS}{c}$. În același timp placa însăși radiază în spațiu energia primită. Dacă ea radiază conform legii lui Lambert, atunci suma puterilor radiate în toate direcțiile este $IS = \pi I' S$ unde I' este intensitatea luminoasă, radiată în direcție normală. Adunînd forțele care acționează asupra plăcii în urma radiației în diferite direcții, vom obține forța $F'' = \frac{2\,IS}{3c}$. Forța rezultantă este $F_2 = \frac{IS}{c}\left(1 + \frac{2}{3}\right)$ de unde, $\frac{F_1}{F_2} = 1{,}2$.

40.12. a) Energia fotonilor reflectați de oglinda în mișcare se micșorează. (Ca urmare a efectului Doppler.) b) Creșterea energiei interne a firului de praf este mai mică decît energia luminoasă absorbită.

40.13. a) $2 \cdot 10^{-14}$ m; b) $4 \cdot 10^{-11}$ m.

40.14. $9{,}10^{7}\ \frac{m}{s}$

40.15. 7′

40.16. b) Forța centripetă este reprezentată de forța de atracție electrostatică dintre protoni și electroni: $\frac{mv^2}{r} = \frac{c^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}$ unde r este raza circumferinței pe care se mișcă electronul, r_1 — distanța între centrele de masă ale protonului și electronului iar ε_0 permitivitatea vidului. Deoarece masa electronului este foarte mică în comparație cu cea a protonului, atunc

$r_1 = r = n^2 \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi e^2 m}$. c) dacă se face convenţia de a atribui valoarea zero energiei potenţiale a sistemului proton-electron, cînd distanţa dintre ei este infinită, atunci energia potenţială la distanţa r între ei este $E_p = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$. Energia cinetică $E_c = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$ deci, $L = -(E_p + E_c) =$ = 13,58 eV. Rezultatul corespunde valorilor experimentale. d) $\lambda_H = 487$ nm ceea ce aproape coincide cu rezultatul experimental: $\Delta v = 81 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. e) În cazul atomului de heliu ionizat, acesta are sarcina nucleului de două ori mai mare decît nucleul de hidrogen. Pentru electronul rămas, vom obţine: $\lambda_{He} = \frac{\lambda_H}{} = 122$ nm ceea ce de asemenea, corespunde măsurătorilor experimentale.

41.1. a) 200 K ; b) 0,23

41.2. 8 A

41.3. 0,063 mm

41.4. Se măreşte de 1,14 ori.

41.5. 36 mA

41.6. a) 0,11° ; b) 1,5 A

41.7. 5 750 K

41.8. Asupra particulei acţionează forţele: 1) Forţa atracţiei universale $F_1 = \frac{K\pi d^3 m_s \rho}{6R^2}$ unde m_s este masa Soarelui, R distanţa de la particulă pînă la centrul lui, iar ρ este densitatea fierului. 2) Forţa determinată de presiunea luminii : $F_2 = -\frac{\pi d^2}{4} \cdot \sigma T_s^4 \cdot \frac{R_s^2}{R^2} \cdot \frac{1}{c}$ unde R_s este raza Soarelui. La echilibru $F_1 + F_2 = 0 \Rightarrow d = 1{,}74 \cdot 10^{-5}$ cm.

41.10. Aproape 80%

41.11. 0,3%

41.12. 0,22 A

41.13. $\simeq 10^9$ J

41.14. $T = T_s \sqrt{\frac{d}{2f}} = 3\,000$ K

41.15. a) Puterea radiaţiei solare absorbită de particulă este $P_1 = A \frac{\pi d^2}{4} \sigma T_s^4 \frac{R_s^2}{R^2}$ unde d este diametrul particulei , R_s este raza soarelui, iar A coeficientul de absorţie. Puterea radiaţiei particulei în toate direcţiile este $P_2 = A\pi d^2 \sigma T^4$. La echilibru $P_1 = P_2$, $T = T_s \sqrt{\frac{R_s}{2R}} =$ = 290 K adică diferă puţin de temperatura medie a suprafeţei pămîntului. b) Puterea radiaţiei solare absorbită de particulă $P_1 = \frac{\pi d^2}{4} \frac{2\pi hc^2 \Delta\lambda}{\lambda^5 \left(e^{\frac{ch}{\lambda K T_s}} - 1 \right)} \cdot \frac{R_s^2}{R^2}$. Puterea radiaţiei particulei este $P_2 = \pi d^2 \frac{2\pi hc^2 \Delta\lambda}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda K T_s}} - 1 \right)}$. La echilibru $P_1 = P_2$ şi avînd în vedere că $e^{\frac{hc}{\lambda h T_s}} = e^{4{,}8} >> 1$ şi că $T < T_s$ obţinem $T = \frac{1}{\frac{1}{T_s} + \frac{2\lambda k \ln \frac{2R}{R_s}}{hc}} = 1\,700$ K.

41.16. —4,8 K.

41.17. $\tau = \frac{\rho c d}{12 A \sigma}\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right)$ unde ρ și c sînt densitatea și căldura specifică a wolframului. Se obține $\tau = 0{,}033$ s.

41.18. În curent alternativ.

41.19. S-ar fi mărit.

41.20. Maximele funcției de distribuție corespund minimelor următoarelor mărimi : 1) pentru distribuția pe intervale de frecvențe $\lambda^3\left(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1\right)$. 2) pentru distribuția pe intervale de lungimi de undă $\lambda^5\left(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1\right)$. 3) pentru distribuția pe intervalele logaritmilor frecvențelor sau logaritmilor lungimilor de undă. $\lambda^4\left(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1\right)$. De aceea, valoarea constantei C în legea de deplasare a maximului funcției de distribuție, în funcție de temperatură are valori diferite pentru diferite funcții de distribuție. De obicei, se dă valoarea constantei C pentru distribuția pe intervale de lungimi de undă. Pentru corpuri cenușii valoarea constantei C este aceeași ca și pentru radiatorii integrali.

41.21. a) $\lambda_0 = C\sqrt[4]{\frac{A\pi dl\sigma}{P - P_1}} = 1{,}2$ μm ; b) 6,9 μm.

41.22. Observînd că, pentru condițiile date $e^{\frac{hc}{\lambda KT}} \gg 1$, relația căutată se poate exprima astfel :

$$x = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 e^{\frac{hc}{KT}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} = 2{,}9.$$

41.23. Fluxul cantității de căldură printr-o secțiune oarecare depinde de diferența radiațiilor termice din punctele tubului dispuse la dreapta și la stînga secțiunii, la distanța de ordinul razei tubului. De aceea, acest flux se poate calcula prin formula $Q = \sigma\pi R^2\left(T_1^4 - T_2^4\right)$ unde $T_1 - T_2 = 2R\frac{dT}{dL}$; $Q = 8\,T^3\frac{dT}{dL}\pi R^3\sigma$. Punînd $T = 1\,250$ K ; $\frac{dT}{dL} = 1°/\text{m}$, obținem $Q = 360$ W. Răspunsul exact care se obține prin integrare diferă de cel găsit cu factorul $\frac{4}{3}$.

42.1. 8 transmutații α și 6 transmutații β.

42.2. 61 s

42.3. 4,4 min

42.4. $1{,}9 \cdot 10^{-8}$ g

2.5. 0,34

42.6. $3{,}4 \cdot 10^{-7}$

42.7. Pe schema din figură se observă că numărul de particule α emise de amestec 4 ori mai mare decît numărul de particule emise numai de radiu. $1{,}48 \cdot 10^8$ s^{-1}.

42.8. 0,66 mm^3

42.9. $1{,}6 \cdot 10^5$

42.10. 0,51 MeV

42.11. a) 2,2 MeV ; b) 28 MeV

42.12. $2{,}1 \cdot 10^8 \frac{cm}{s}$

42.13. Aplicînd legile de conservare a energiei și impulsului obținem $E_2 = \frac{Qm_3 + E_1(m_3 - m_1)}{m_2 + m_3}$. Aici Q este energia legată de variația masei particulelor egală cu $Q = (2m_1 - m_2 - m_3)\,c^2$ iar m_1, m_2 și m_3 sînt masele deuteriului, neutronului și atomului de ${}^3_2He$; $E_2 = 2{,}6$ MeV.

42.14. 2 800 t.

42.15. $7{,}5 \cdot 238 - 6{,}5 \cdot 236 = 221$ MeV.

42.16. $\frac{\Delta E_l}{M} = 0{,}6 \frac{J}{kg}$

42.17. $\Delta E = \frac{3e^2}{5k}\,[Z_1(Z_1 - 1) - Z_2(Z_2 - 1] - \Delta E_1 = 1{,}2$ MeV

42.18. $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_1} + AqN$; $\tau = 5 \cdot 10^2$ s

42.19. Masa critică se obține pentru condiția $\frac{R}{l} = \text{const.}$ unde R este raza sferei, l parcursul neutronului, invers proporțional cu densitatea, adică $R \sim \frac{1}{\rho}$. Știind că, $R \sim \frac{M^{1/3}}{\rho^{1/3}}$ avem $M \sim \frac{1}{\rho^2}$ sau $M \approx 1 + 6\alpha\Delta l$; $M_{22} = 150{,}15$ kg.

42.20. $N = \frac{cM\Delta l}{E}(\nu - 1) = 3 \cdot 10^{15}$

42.21. Vitezele avioanelor în raport cu un sistem inerțial legat de stele sînt $v = V \pm v_0$ unde V este viteza liniară de rotație a pămîntului ($V = \frac{L}{T}$; $T = 8{,}64 \cdot 10^4$s ; L — lungimea ecuatorului). Efectul relativist de dilatare a timpului în sistemul inerțial este $\frac{v^2}{2c^2}\,t$ unde $t = \frac{L}{v_0}$ este timpul de zbor. Diferența efectelor relativiste pentru cele două avioane este $\frac{2Vv_0}{c^2}\,t = \frac{2L^2}{c^2T} = 3{,}36 \cdot 10^{-7}$s.

42.22. Legea conservării energiei în sistemul de referință, în care la momentul inițial racheta se afla în repaus: $M_0 = \frac{M_1}{\sqrt{1 - v^2}} + p$; $p = \frac{M_1 v}{\sqrt{1 - v^2}}$, de unde $v = \frac{M_0^2 - M_1^2}{M_0^2 + M_1^2}$

42.23. Să studiem invariantul $(\Sigma E)^2 - (\Sigma p)^2 = \text{inv.}$ În sfera finală găsim valoarea sa minimă, folosind sistemul de referință în care $\Sigma p = 0$ (sistemul centrului de masă). Obținem inv. $= 9\,M^2$. În sistemul inițial $(E + M)^2 - E^2 = 2EM + M^2 = \text{inv.}$ De aici valoarea minimă $E = 4M = 3{,}6$ GeV.

TABELE

I. *Cîteva numere întîlnite mai frecvent*

	n	lg n
π	3,141593	0,49715
4π	12,56637	1,09921
$\frac{2}{\pi}$	0,63662	$\bar{1}$,80388
π^2	9,86960	0,99430
$\sqrt{\pi}$	1,77245	0,24857
e	2,718282	0,43429
ln 10	2,3026	0,33222
ln 2	0,6931	—
$\sqrt{2}$	1,41421	0,15052
$\sqrt{3}$	1,73205	0,23856
1°	0,017453 radian	
1′	0,000291 radian	
1″	0,0000048 radian	

II. *Unităţile mărimilor fizice în SI*

Mărimea fizică	Denumirea unităţii	Simbolul unităţii
Lungimea	metru	m
Aria	metru pătrat	m^2
Volumul	metru cub	m^3
Timpul	secundă	s
Frecvenţa oscilaţiilor	hertz	Hz
Frecvenţa de rotaţie	secundă la minus unu	$\frac{1}{s}$
Viteza	metru pe secundă	$\frac{m}{s}$
Viteza unghiulară	secundă la minus unu	$\frac{1}{s}$

Mărimea fizică	Denumirea unității	Simbolul unității
Accelerația	metru pe secundă la pătrat	$\frac{m}{s^2}$
Accelerația unghiulară	secundă la minus doi	$\frac{1}{s^2}$
Masa	kilogram	kg
Forța	newton	N
Presiunea	newton pe metru pătrat	$\frac{N}{m^2}$
Densitatea	kilogram pe metru cub	$\frac{kg}{m^3}$
Lucrul mecanic, energia	joule	J
Densitatea de energie	joule pe metru cub	$\frac{J}{m^3}$
Puterea	watt	W
Momentul forței	newton·metru	N·m
Momentul de inerție	kilogram·metru pătrat	$kg \cdot m^2$
Impulsul	kilogram·metru pe secundă	$\frac{kg \cdot m}{s}$
Momentul impulsului	kilogram·metru pătrat pe secundă	$\frac{kg \cdot m^2}{s}$
Viscozitatea (dinamică)	newton·secundă pe metru pătrat	$\frac{N \cdot s}{m^2}$
Sarcina electrică	coulomb	C
Potențial, tensiune, t.e.m.	volt	V
Intensitatea cîmpului electric	volt pe metru	$\frac{V}{m}$
Momentul electric	coulumb·metru	C·m
Inducția cîmpului electric și polarizația electrică	coulomb pe metru pătrat	$\frac{C}{m^2}$
Permitivitatea	farad pe metru	$\frac{F}{m}$
Capacitatea electrică	farad	F
Intensitatea curentului	amper	A

Mărimea fizică	Denumirea unității	Simbolul unității
Densitatea de curent	amper pe metru pătrat	$\frac{A}{m^2}$
Rezistența electrică	ohm	Ω
Rezistivitatea	ohm·metru	$\Omega \cdot m$
Intensitatea cîmpului magnetic	amper pe metru	$\frac{A}{m}$
Inducția cîmpului magnetic	weber pe metru pătrat	$\frac{Wb}{m^2}$
Fluxul magnetic	weber	Wb
Momentul magnetic	amper·metru pătrat	$A \cdot m^2$
Magnetizarea	amper pe metru	$\frac{A}{m}$
Permeabilitatea magnetică	henry pe metru	$\frac{H}{m}$
Inducția	henry	H

Relații între unitățile uzuale de presiune

$$1 \text{ atm} = 1{,}033 \text{ at} = 760 \text{ Torr} = 1{,}013 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

Relații între unitățile uzuale de energie

a) $1 \text{ J} = 0{,}239 \text{ cal} = 6{,}242 \cdot 10^{12} \text{ eV}$
b) $1 \text{ cal} = 4{,}185 \text{ J} = 2{,}612 \cdot 10^{19} \text{ eV}$
c) $1 \text{ eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
d) $1 \text{ l} \cdot \text{atm} = 101{,}3 \text{ J} = 24{,}1 \text{ cal}.$

III. *Constante fizice*

1) Constanta gravitațională : $K = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$.

2) Valoarea normală a intensității cîmpului gravitațional al pămîntului (accelerația căderii corpurilor) : $g_0 = 9{,}80665 \frac{m}{s^2}$. În rezolvarea problemelor se va lua $g = 9{,}8 \frac{m}{s^2}$.

3) Numărul lui Avogadro : $N = 6{,}02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$

4) Volumul kilomolar al gazelor în condiții normale $V_\mu = 22{,}4 \frac{m^3}{kmol}$

5) Constanta gazelor : $R = 8\,314 \frac{J}{kmol K}$

6) Masa kilomolară medie a aerului : $\mu = 28{,}9 \frac{kg}{kmol}$

7) Constanta lui Boltzmann: $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

8) Punctul de topire al gheţii: 273,16 K ($\simeq 273$ K)

9) Constanta legii lui Stefan: $5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$.

10) Constanta legii de deplasare a maximului radiaţiei: $C = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ m·K

11) Sarcina electronului: $c = 1{,}601 \cdot 10^{-19}$ C

12) Masa electronului: $m_0 = 9{,}106 \cdot 10^{-31}$ kg

13) Masa protonului: $m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kg

14) Numărul lui Faraday: $F = 9{,}65 \cdot 10^{7} \frac{C}{Echiv \cdot kg}$

15) Constanta lui Planck: $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s

16) Viteza luminii în vid: $c = 2{,}99776 \cdot 10^{8} \frac{m}{s} \simeq 3 \cdot 10^{8} \frac{m}{s}$

IV. Mase atomice

Azot	N	14,008
Aluminiu	Al	26,97
Argon	Ar	39,944
Bariu	Ba	137,36
Beriliu	Be	9,02
Bor	B	10,82
Brom	Br	79,916
Bismut	Bi	209,00
Hidrogen	H	1,0081
Wolfram	W	184
Heliu	He	4,004
Fier	Fe	55,84
Aur	Au	197,2
Iod	J	126,92
Kaliu	K	38,096
Calciu	Ca	40,08
Oxigen	O	16,000
Siliciu	Si	28,08
Litiu	Li	6,94
Mangan	Mg	24,32
Cupru	Cu	63,57
Natriu	Na	22,997
Neon	Ne	20,183
Nichel	Ni	58,69
Staniu	Sn	118,70
Platină	Pt	195,26
Radiu	Ra	226,05
Radon	Rn	222
Mercur	Hg	200,61
Plumb	Pb	207,22
Sulf	S	32,060
Argint	Ag	107,88
Carbon	C	12,00

Uraniu	U	238,14
Fosfor	P	31,02
Clor	Cl	35,457
Crom	Cr	52,01
Zinc	Zn	65,38

V. *Masele particulelor exprimate în unităţi atomice de masă* (u)

e	electron	0,00055
n	neutron	1,00866
p	proton	1,00728
D	deutron	2,01355
α	particulă α	4,00150
$_1H^1$	atom de hidrogen	1,00782
$_1H^2$	atom de deuteriu	2,01410
$_2He^3$	atom de heliu	3,01602
$_2He^4$	atom de heliu	4,00260
$_3Li^7$	atom de litiu	7,01600

VI. *Diametrele moleculelor şi atomilor* (cm)

H_2	$2{,}3 \cdot 10^{-8}$
O_2	$2{,}9 \cdot 10^{-8}$
N_2	$3{,}1 \cdot 10^{-8}$
H_2O	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$
He	$1{,}9 \cdot 10^{-8}$

VII. *Mărimi astronomice*

Raza medie a Pămîntului	6 370 km
Masa Pămîntului	$5{,}96 \cdot 10^{24}$ kg
Raza Soarelui	696 000 km
Masa Soarelui	$1{,}97 \cdot 10^{30}$ kg
Distanţa medie dintrePămînt şi Soare	149 000 000 km
Raza Lunii	1 735 km
Masa Lunii	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg
Distanţa medie dintre Lună şi Pămînt	384 000 km
Viteza unghiulară de rotaţie a Pămîntului	$7{,}272 \cdot 10^{-5}$ s^{-1}

VIII. *Densitatea* (ρ) *în* $\frac{kg}{m^3}$.

a) *Gaze (În condiţii normale).*

Aer	1,293
Bioxid de carbon	1,977
Oxigen	1,429
Hidrogen	0,08988

b) *Lichide*

Benzină	880
Petrol	800
Terebentină	850

Ulei de rîcin	970
Alcool	790
Mercur	13 600
Eter (20°C)	714
Glicerină	1 210

c) *Corpuri solide*

Bismut	9 700
Wolfram	19 000
Fier (oțel)	7 800
Gheață	917
Cupru	8 900
Clorură de Na	2 170
Nichel	8 800
Plumb	11 300
Zinc	7 000

IX. *Viscozitatea* (η) *în daP*

Aer la 0°C	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
Oxigen la 0°C	$1{,}91 \cdot 10^{-5}$
Apă la 15°C	0,0011
Ulei de rîcin	1
Glicerină	0,35

X. *Efortul unitar de rupere la alungire în* $\frac{N}{m^2}$

Oțel	$6{,}86 \cdot 10^8$
Fier	$5{,}88 \cdot 10^8$
Cupru	$2{,}35 \cdot 10^8$
Plumb	$1{,}96 \cdot 10^7$
Sticlă	$2{,}94 \cdot 10^7$

XI. *Elasticitatea*

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate (N/m^2)	Coeficientul de comprimare transversală	Modulul de forfecare (N/m^2)	Modulul de comprimare omnidirecțională (N/m^2)
Oțel	$1{,}96 \cdot 10^{11}$	0,3	$7{,}84 \cdot 10^{10}$	$1{,}62 \cdot 10^{11}$
Fier	$1{,}96 \cdot 10^{11}$	0,3	$7{,}84 \cdot 10^{10}$	—
Cupru	$1{,}17 \cdot 10^{11}$	0,35	$4{,}41 \cdot 10^{10}$	$1{,}32 \cdot 10^{11}$
Plumb	$1{,}66 \cdot 10^{10}$	0.38	$5{,}39 \cdot 10^{9}$	—
Sticlă	$4{,}9 \cdot 10^{10}$	0,2—0,3	—	$2{,}94 \cdot 10^{10}$
Lemn	$9{,}8 \cdot 10^{9}$	—	—	—
Mercur	—	—	—	$2{,}45 \cdot 10^{10}$
Apă	—	—	—	$1\ 96 \cdot 10^{9}$

XII. *Coeficienți de dilatație termică în* K^{-1}

a) Dilatație liniară

Zinc	$29 \cdot 10^{-6}$
Fier (oțel)	$12 \cdot 10^{-6}$
Cupru	$17 \cdot 10^{-6}$

Alamă ..... $19 \cdot 10^{-6}$
Sticlă ..... $10 \cdot 10^{-6}$
Aluminiu ..... $24 \cdot 10^{-6}$

b) Dilatație în volum

Mercur 0,00018

XIII. *Căldurile specifice ale corpurilor solide și lichide în* $\frac{J}{kg\ K}$.

Bismut 130
Wolfram 150
Fier (oțel) 460
Cupru 380
Plumb 130
Alcool 2 500

XIV. *Căldurile specifice ale gazelor* $(J/gk \cdot K) \cdot \left(\frac{J}{kg\ K}\right)$.

Denumirea gazului	c_p	c_v	Coeficientul lui Poisson
Aer	1 020	728	1,4
Vapori de apă	1 820	1 380	1,32
Argon	531	319	1,67
Azot	1 040	741	1,41
Oxigen	912	649	1,40
Bioxid de carbon	847	653	1,30

XV. *Constantele Van der Vaals*

Substanța	a $\left(\frac{J \cdot m^3}{k\ mol^2}\right)$	b $\left(\frac{m^3}{k\ mol}\right)$
N_2	$1,37 \cdot 10^5$	0,04
Ar	$1,32 \cdot 10^5$	0,03
H_2O	$5,54 \cdot 10^5$	0,03
CO_2	$3,65 \cdot 10^5$	0,043
O_2	$1,37 \cdot 10^5$	0,03
H_2	$0,24 \cdot 10^5$	0,26

XVI. *Căldura latentă de topire*

Gheață ..... $3,33 \cdot 10^5$ J/kg

XVII. *Presiunea și densitatea vaporilor saturanți de apă*

t °C	p (*Torr*)	ρ (g/m^3)	t °C	p (*Torr*)	ρ (g/m^3)
—23	0,58	0,66	15	12,79	12,8
0	4,58	4,84	16	13,63	13,6
1	4,93	5,22	17	14,53	14,5
2	5,29	5,60	18	15,48	15,4
3	5,69	5,98	19	16,48	16,3
4	6,10	6,40	20	17,54	17,3
5	6,54	6,84	21	18,65	18,3
6	7,01	7,3	22	19,83	19,4
7	7,51	7,8	23	21,07	20,6
8	8,05	8,3	24	22,38	21,8
9	8,61	8,8	25	23,76	23,0
10	9,21	9,4	26	25,21	24,4
11	9,84	10,0	27	26,74	25,8
12	10,52	10,7	28	28,35	27,2
13	11,23	11,4	29	30,04	28,7
14	11,99	12,1	30	31,82	30,3

XVIII. *Proprietățile vaporilor saturanți de apă*

Presiunea (at)	t °C	Volumul specific al vaporilor (m^3/kg)	Căldura latentă de vaporizare (kJ/kg)	Căldura totală de vaporizare (kJ/kg)
0,02	17,2	68,3	2 456	2 528
0,1	45,4	14,96	2 387	2 583
0,2	59,7	7,80	2 359	2 608
0,4	75,4	4,071	2 321	2 636
0,6	85,45	2,785	2 296	2 653,7
0,8	93,0	2,127	2 277	2 666
0,9	96,2	1,905	2 268	2 671
1	99,1	1,726	2 261	2 676
1,0333	100	1,674	2 259	2 678
1,23	105	1,420	2 241	2 680
1,8	116,3	0,996	2 214	2 703
2	119,6	0,902	2 205	2 707
3	132,9	0,617	2 167	2 725
4	142,9	0,4708	2 136	2 738

Presiunea (at)	t°C	Volumul specific al vaporilor (m^3/kg)	Căldura latentă de vaporizare (kJ/kg)	Căldura totală de vaporizare (kJ/kg)
5	151,1	0,3818	2 110	2 747
6	158,1	0,3214	2 087	2 755
7	164,2	0,2778	2 066	2 760
8	169,6	0,2448	2 047	2 765
9	174,5	0,2189	2 030	2 769
10	179,0	0,1980	2 013	2 773
12	187,1	0,1663	1 983	2 778
14	194,1	0,1434	1 955	2 781
16	200,4	0,1261	1 930	2 784
18	206,2	0,1125	1 906	2 786
20	211,4	0,1015	1 884	2 788
30	232,8	0,0679	1 789	2 791
40	249,2	0,0506	1 711	2 789

XIX. *Coeficienți de termoconductibilitate* (λ)

	$\frac{J}{m \cdot s \cdot K}$
Aer	0,023
Aluminiu	210
Bismut	10
Fier	59
Cupru	380
Plumb	35

	$\frac{J}{m \cdot h \cdot K}$
Azbest	0,75
Lemn	0,63
Cărămidă	2,5
Depunere calcaroasă pe pereții cazanului	8
Funingine	0,25
Sticlă	2,5

XX. *Coeficienţi de transmisie a căldurii* (α)

Metal-gaz	$13 \frac{J}{m^2 \cdot s \cdot K}$.
Fumingine-gaz	$84 \frac{kJ}{m^2 \cdot h \cdot K}$
Metal cu depunere calcaroasă	$2{,}1 \cdot 10^4 \frac{kJ}{m^2 \cdot h \cdot K}$

XXI. *Tensiune superficială* (σ) *în* $\frac{J}{m^2}$

Apă la 20°C	$7 \cdot 10^{-2}$
Apă cu săpun	$4 \cdot 10^{-2}$
Mercur	$49 \cdot 10^{-2}$
Terebentină	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$
Alcool	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$

XXII. *Rezistivităţile şi coeficientul termic de rezistenţă* (ρ *şi* α)

Aluminiu	$2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$	$4{,}2 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$
Fier	$1{,}2 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot m$	$6 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$
Cupru	$1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$	$5 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$
Nichel	$4 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot m$	
Ni-crom	$1 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot m$	
Plumb	$2{,}2 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot m$	$4{,}2 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$
Cărbune	$4 \cdot 10^{-5}\ \Omega \cdot m$	$-0{,}8 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$

XXIII. *Permitivitatea electrică relativă* (ε_r)

Petrol	2
Alcool	26
Mică	7
Porţelan	6
Sticlă	7
Apă	81
Parafină	2

XXIV. *Mobilitatea ionilor* (K) $\left(în \frac{cm^2}{V \cdot s} \right)$

a) Soluţii apoase

Ag	0,00056
K	0,00067
H	0,00324
Cl′	0,00068
NO_3'	0,00064

b) Gaze, în condiţii normale. (în $cm^2/V \cdot s$)

	k_+	k_-
Aer	1,37	1,91
Azot	1,27	1,84

XXV. *Energia de ionizare* (φ.e) *în* eV

Oxigen	13,56	48,56
Azot	14,47	44,05

XXVI. *Lucrul de extracție al electronilor din unele metale* ($\varphi \cdot e$) *în* eV

Platină	6,3
Cesiu	1,9
Wolfram	4,53

XXVII. *Viteza sunetului* (c) *în* $\frac{m}{s}$

În aer la 0°C	332
În apă	1 450

XXVIII. *Indici de refracție. (Valori medii pentru radiațiile vizibile* (n))

Sticlă	1,52
Apă	1,333
Gheață	1,31

XXIX. *Coeficienții radiației totale* (ε) *și rezistivitățile* (ρ) *wolframului la diferite temperaturi* (T)

T(K)	ε	($10^6\rho$ $\Omega \cdot$cm)
1 000	0,115	25,7
1 500	0,194	41,8
2 000	0,260	59,1
2 500	0,303	77,2
3 000	0,334	96,2
3 500	0,351	115,7

XXX. *Perioada de înjumătățire a unor substanțe radioactive* (T)

Uraniu	$4,4 \cdot 10^9$	ani	$= 1,4 \cdot 10^{17}$ s
Radiu	1 590	ani	$= 5,02 \cdot 10^{10}$ s
Radon	3,825	zile	$= 3,305 \cdot 10^5$ s
Actiniu	13,5	ani	$= 4,23 \cdot 10^8$ s
Ra A			183 s

XXXI. *Simbolurile mărimilor fizice*

Lungimea	l, a, d	Volumul specific	v
Lățimea	b	Forța	F
Adîncimea, înălțimea	h	Greutatea (în aer)	P, G
Diametrul	d	Presiunea	p
Raza	R, r	Momentul forței	$\mathfrak{M}$
Aria	S	Momentul de inerție	I
Volumul	V	Impulsul	H
Timpul	t, τ	Momentul impulsului	L, K
Viteza	v, u	Lucrul mecanic	L
Accelerația	a	Puterea	P
Viteza unghiulară	ω	Coeficientul de frecare	μ
Accelerația unghiulară	ε	Energia	W, E
Masa	m	Densitatea de energie	w
Densitatea	ρ	Accelerația gravitațională	g

Perioada . . . . . T
Frecvenţa oscilaţiilor . . . . . ν
Frecvenţa de rotaţie . . . . . n
Pulsaţia . . . . . ω
Defazajul . . . . . φ
Lungimea de undă . . . . . λ
Viteza de fază a undelor c
Viteza de grup a undelor . . . . . u
Coeficientul de amortizare a oscilaţiilor . . . . . δ
Decrementul logaritmic al amortizării . . . . . θ
Modulul lui Young . . . . . E
Coeficientul de comprimare transversală . . . . . μ
Modulul de forfecare . . . . . G
Modulul de comprimare omni-direcţională . . . . . K
Coeficientul de dilataţie liniară . . α
Coeficientul de dilataţie cubică . . β
Masa moleculară . . . . . μ
Raportul c_p/c_v . . . . . γ
Randamentul . . . . . η
Tensiunea superficială . . . . . σ
Temperatura în scara Celsius . . . t
Temperatura absolută . . . . . T
Cantitatea de căldură . . . . . Q
Energia internă . . . . . U
Entropia . . . . . S
Căldura specifică c
Căldura latentă de vaporizare . . r
Termoconductibilitate . . . . . λ
Sarcina electrică . . . . . q
Sarcina elementară . . . . . e

Densitatea electrică superficială . . E
Densitatea electrică de volum . . . ρ
Permitivitatea . . . . . ε
Intensitatea cîmpului electric . . . E
Inducţia cîmpului electric . . . . . D
Capacitatea electrică C
Tensiunea electrică . . . . . U
Potenţialul V
Tensiunea electromotoare . . . . . E, e
Intensitatea curentului . . . . . I, i
Densitatea curentului electric . . . j
Rezistenţa electrică . . . . . R, r
Rezistivitatea . . . . . ρ
Conductanţa . . . . . G
Conductivitatea . . . . . g
Intensitatea cîmpului magnetic . . H
Inducţia cîmpului magnetic . . . . B
Permeabilitatea . . . . . μ
Fluxul magnetic . . . . . Φ
Numărul de spire . . . . . N
Inductanţa L
Inductanţa mutuală . . . . . M
Rezistenţa aparentă . . . . . Z
Vectorul Umov-Poynting . . . . . S
Intensitatea undelor I
Fluxul luminos . . . . . Φ, F
Iluminarea . . . . . E
Intensitatea luminoasă . . . . . J
Unghiul de incidenţă i
Unghiul de refracţie al prismei . . A
Distanţa focală a unei lentile sau oglinzi . . . . . f
Puterea optică . . . . . P
Indicele de refracţie . . . . . n

TABLA DE MATERII

Introducere . . . . . .

Capitolul I

MECANICA

§ 1. Cinematica 7
§ 2. Căderea liberă şi aruncarea corpurilor 13
§ 3. Legile dinamicii. Lucrul mecanic, puterea, energia 15
§ 4. Dinamica mişcării de rotaţie 23
§ 5. Legea gravitaţiei universale 31
§ 6. Statica corpului solid 33
§ 7. Rezistenţa şi elasticitatea materialelor 36
§ 8. Dinamica mişcării oscilatorii. Pendule 39
§ 9. Dinamica lichidelor şi gazelor 41

Capitolul II

FIZICA MOLECULARĂ

§ 10. Dilataţia solidelor şi lichidelor 48
§ 11. Proprietăţile gazelor ideale 49
§ 12. Primul principiu al termodinamicii cu aplicaţii la gazele ideale . 52
§ 13. Teoria cinetică a gazelor 56
§ 14. Gaze reale. Starea critică 59
§ 15. Forţe moleculare în lichide 61
§ 16. Proprietăţile vaporilor. Umiditatea 64
§ 17. Proprietăţile soluţiilor 66
§ 18. Principiul al doilea al termodinamicii 67
§ 19. Transmisia căldurii 69

Capitolul III

ELECTRICITATEA

§ 20. Interacţiunea sarcinilor electrice 71
§ 21. Potenţialul 74
§ 22. Conductori în cîmpul electric 78
§ 23. Dielectrici în cîmpul electric 79
§ 24. Capacitatea electrică 80
§ 25. Legea lui Ohm 84
§ 26. Curenţi ramificaţi 87
§ 27. Energia şi puterea curentului electric 92
§ 28. Fenomene electrice în metale 95

§ 29. Curentul electric în gaze 96
§ 30. Curentul electric în lichide 98
§ 31. Electromagnetismul 99
§ 32. Lucrul mecanic de deplasare a unui conductor parcurs de curent în cîmp magnetic şi inducţia electromagnetică 108
§ 33. Curenţi periodici 115
§ 34. Oscilaţii electrice 120

Capitolul IV

FENOMENE ONDULATORII

§ 35. Unde 122
§ 36. Fenomene sonore 125

Capitolul V

OPTICA. STRUCTURA ATOMULUI

§ 37. Legile iluminării 128
§ 38. Oglinzi, prisme şi lentile 131
§ 39. Natura ondulatorie a luminii 139
§ 40. Fenomene cuantice în optică 146
§ 41. Legile radiaţiei 147
§ 42. Fenomene intranucleare şi teoria relativităţii 150
Răspunsuri 153
Tabele 208